

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Dekompenzace lokální distribuční sítě DNT
Decompensation of Local DNT Distribution Network

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Bohumil Wimmer

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907T001 Elektroenergetika

Téma:

Dekompenzace lokální distribuční sítě DNT
Decompensation of local DNT distribution network

Zásady pro vypracování:

1. Kompenzace účinníku a její vliv na přenosové sítě
2. Konfigurace lokální distribuční sítě povrchového uhlénohromadění DNT
3. Měření zpětné dodávky jalové energie
4. Možnosti dekompenzace v rámci uvažované sítě
5. Výběr optimální varianty dekompenzace, včetně jejího technického řešení
6. Technicko-ekonomické zhodnocení vybrané varianty dekompenzace

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Korenc, V., Holoubek, J.: Kompenzace jalového výkonu v praxi, IN-EL, Praha, 1999
2. Toman, P. a kolektiv autorů: Provoz distribučních soustav, ČVUT Praha, 2011
3. Tlustý J. a kolektiv autorů: Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav, ČVUT Praha, 2011
4. Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí, Ostrava, 2008
5. Firemní literatura
6. Předpisy, normy ČSN

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Moldřík, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014

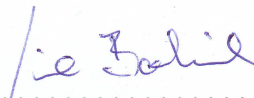
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“



.....
Bohumil Wimmer

Datum odevzdání: 7.5.2014

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Petru Moldříkovi Ph.D. za odborný dohled, cenné připomínky, ochotu, čas a trpělivost, které mi věnoval při tvorbě této diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat pracovníkům Severočeských dolů za vstřícný přístup při provádění měření, poskytnutí potřebných podkladů a materiálů pro vypracování této diplomové práce.

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je navržení a posouzení možností dekompenzace pro lokální distribuční síť na povrchovém uhelném lomu „Doly Nástup Tušimice (DNT)“. Diplomová práce je rozdělena do celkem šesti částí. V první části jsou popsány vlastnosti vedení, statické kompenzační prostředky, jejich vliv na vedení a teorie řízení výkonů na vedení. Druhá část se zabývá distribucí elektrické energie na povrchovém uhelném dole DNT a kompenzačními prostředky, používanými v současné době v uvedené lokalitě. Ve třetí části je vyhodnoceno měření zpětné dodávky jalové energie, provedené na vybraných částech lokální distribuční sítě DNT a v napájecích bodech lokální distribuční sítě. Ve čtvrté části jsou rozebírány možnosti dekompenzace v prostředí lokální distribuční sítě DNT a jsou zvažovány jejich výhody a nevýhody. Následně je vybrána optimální varianta dekompenzace a je popsáno její řešení. V závěrečné části této práce je zhodnocen přínos vybraného typu řešení dekompenzace.

Klíčová slova

kompenzace jalové energie, dekompenzace jalové energie, statická kompenzace, dekompenzace kabelového vedení, dekompenzační tlumivka

Abstract

The aim of this bachelor work is proposal of decompensation for local distribution power network for opencast mine „Doly Nástup Tušimice (DNT)“ and facilities assessment. The bachelor work is divided into altogether six parts. In the first part are described power line characteristics, statics compensation resources, their influence on power line and power control theory for power line. Second part handle electric power distribution opencast mine DNT and compensation resources used actually at above mentioned locality. At the third part back supply of idle energy measurement is evaluated, performed on selected parts of local distribution power network DNT and at the power supply point of local distribution power network. At the fourth part are analyzed decompensation possibilities at conditions of local distribution power network DNT, advantages and disadvantages are considered. Consequently is optimum variant of decompensation selected and their solution is described. At conclusion part of this bachelor work is summarized benefit for selected solution of decompensation.

Keywords

reactive power compensation, reactive power decompensation, static compensation, cable line decompensation, shunt reactor

Seznam zkratek

<i>B</i>	susceptance (S)
<i>B_C</i>	kapacitní susceptance (S)
<i>B_k</i>	susceptance na kilometr délky ($S \cdot km^{-1}$)
<i>B_L</i>	induktivní susceptance (S)
<i>C</i>	kapacita (F)
<i>C_k</i>	kapacita na kilometr délky ($F \cdot km^{-1}$)
<i>CF</i>	roční peněžní tok – úspora nákladů v důsledku investice ($Kč \cdot rok^{-1}$)
<i>D</i>	deformační výkon (VA)
<i>G</i>	příčná vodivost (S)
<i>G_k</i>	příčná vodivost na kilometr délky ($S \cdot km^{-1}$)
<i>I</i>	proud (A)
<i>I_h</i>	proud harmonické vyššího řádu (A)
<i>I_C</i>	kapacitní proud (A)
<i>I_L</i>	induktivní proud (A)
<i>IN</i>	náklady na investici (Kč)
<i>L</i>	indukčnost (H)
<i>L_k</i>	indukčnost vedení na kilometr délky ($mH \cdot km^{-1}$)
<i>M</i>	vzájemná indukčnost (H)
<i>P</i>	činný výkon (W)
<i>P_i</i>	instalovaný výkon (W)
<i>P_h</i>	výkon harmonické vyššího řádu (W)
<i>P_p</i>	přirozený výkon (W)
<i>ΔP</i>	ztráty na výkonu (W)
<i>ΔP_P</i>	ztráty způsobené činnou složkou (W)
<i>ΔP_Q</i>	ztráty způsobené jalovou složkou (W)
<i>ΔP_{Zh}</i>	ztráty způsobené dielektrickou hysterezí (W)
<i>ΔP_{Zk}</i>	ztráty způsobené korunou (W)
<i>ΔP_{ZS}</i>	činné ztráty způsobené svodovou vodivostí (W)
<i>Q</i>	jalový výkon (var)
<i>Q</i>	náboj vodiče ($C \cdot m^{-1}$)
<i>Q_c</i>	výkon kompenzačního kondenzátoru (var)
<i>Q_{CI}</i>	jalový výkon jednoho kompenzačního stupně (var)
<i>R</i>	činný odpor (Ω)
<i>R₀</i>	měrný odpor ($\Omega \cdot m^{-1}$)
<i>R_k</i>	odpor vztažený na kilometr délky ($\Omega \cdot km^{-1}$)
<i>S</i>	zdánlivý výkon (VA)
<i>TN_p</i>	prostá doba návratnosti investice (rok)
<i>U</i>	napětí (V)
<i>U_f</i>	napětí fázové (V)
<i>U_h</i>	napětí harmonické vyššího řádu (V)
<i>U_s</i>	napětí sdružené (V)
<i>W</i>	energie (J)
<i>X</i>	reaktance (Ω)

X_C	kapacitní reaktance (Ω)
X_k	reaktance na kilometr délky ($\Omega \cdot \text{km}^{-1}$)
X_L	induktivní reaktance (Ω)
Y	admitance (S)
Y_k	admitance na kilometr vedení ($\text{S} \cdot \text{km}^{-1}$)
Z	impedance (Ω)
Z_k	impedance na kilometr vedení ($\Omega \cdot \text{km}^{-1}$)
Z_v	impedance vedení (Ω)
$\cos \varphi_1$	je účinník první harmonické (-)
c	rychlost světla ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
d	vzdálenost vodičů (m)
d_s	střední vzdálenost vodičů (m)
f_n	kmitočet harmonické (Hz)
$i(t,x)$	proud jako funkce času a vzdálenosti (A)
k	koeficient kompenzace
l	délka (m)
p	činitel zatlumení (-)
r	poloměr (m)
r_e	ekvivalentní poloměr (m)
$u(t,x)$	napětí jako funkce času a vzdálenosti (V)
v	rychlost šíření elektromagnetické vlny ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
α	teplotní součinitel odporu (K^{-1})
β	konstanta tlumení (-)
β_s	součinitel náročnosti (-)
δ	zátěžný úhel vedení ($^\circ$)
δ	ztrátový úhel kondenzátoru ($^\circ$)
ϵ	permitivita ($\text{F} \cdot \text{m}^{-1}$)
ϵ_r	relativní permitivita (-)
φ	úhel posunu mezi vektorem napětí a vektorem proudu
φ_K	požadovaný vykompenzovaný úhel (obvykle $\cos \varphi_K = 0,95$)
γ	konstanta šíření (-)
λ	délka vlny (m)
λ	skutečný účinník (-)
μ	permeabilita ($\text{H} \cdot \text{m}^{-1}$)
μ_r	relativní permeabilita (-)
ω	je úhlová rychlost ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$)
ρ	měrný odpor ($\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$)
ρ	vzdálenost od vodiče (m)
ρ_0	vzdálenost od vodiče, ve kterém se předpokládá nulový potenciál (m)
ϑ	teplota (K)

Seznam zkratek názvů

DNT	Doly Nástup Tušimice
DT	distribuční trafostanice
EMC	elektromagnetická kompatibilita
FACTS	Flexible AC Transmission System (střídavý přenosový systém obsahující statické regulátory a založený na výkonové elektronice za účelem zvýšení přenosové schopnosti systému)
HVDC	High Voltage Direct Current (vysokonapěťový stejnosměrný přenos)
PVP	pásový vůz překládací
PVZ	pásový vůz zakládací
SD	Severočeské doly, a.s.
S 1	1. skryvkový řez
S 2	2. skryvkový řez
S 3	3. skryvkový řez
S vůz	shazovací vůz
TC	technologický celek
TR	transformační rozvodna
TCR-FSC	Thyristor Controlled Reactor-Fixed Static Condensator (tyristorově řízená tlumivka-pevný statický kondenzátor)
TSN	transformátorová stanice napětí
ÚDUT	ústřední drtírna uhlí Tušimice
SČE	Severočeská energetika, a.s.
SSSC	Static Synchronous Series Compensator (statický synchronní sériový kompenzátor)
STATCOM	Static Synchronous Compensator (statický synchronní kompenzátor)
SVC	Static Var Compensator (statické kompenzační zařízení, kombinující pevné, nebo tyristorově spínané kondenzátory a tlumivky)
UPFC	Unified Power Flow Controller (univerzální regulátor výkonových toků)
VSC	Voltage Source Converter (trojfázový měnič)
nn	nízké napětí
vn	vysoké napětí
vvn	velmi vysoké napětí
zvn	zvlášť vysoké napětí

Obsah

Úvod.....	1
Historie kompenzace účinníku na Dolech Nástup Tušimice	1
Problematika dekompenzace kabelových rozvodů napájecí sítě DNT.....	2
1 Kompenzace účinníku a její vliv na přenosové sítě	3
1.1 Elektrizační soustava	3
1.1.1 <i>Rozvod elektrické energie</i>	4
1.1.2 <i>Vlastnosti vedení</i>	5
1.2 Teorie řízení výkonových toků.....	15
1.2.1 <i>Základní definice</i>	15
1.2.2 <i>Výkonové toky na vedení</i>	17
1.2.3 <i>Vliv odporu přenosové linky</i>	19
1.2.4 <i>Principy řízení výkonových toků</i>	20
1.2.5 <i>Řízení jalového výkonu</i>	24
1.2.6 <i>Vliv výkonových toků na napěťovou úroveň</i>	24
2 Konfigurace lokální distribuční sítě povrchového uhelného lomu DNT	28
2.1 Rozvodná síť	28
2.1.1 <i>Napěťové soustavy požívané na DNT pro technologická zařízení</i>	28
2.1.2 <i>Napojení DNT na veřejnou distribuční síť</i>	28
2.1.3 <i>Páteří rozvodná síť</i>	28
2.1.4 <i>Distribuce elektrické energie do těžebního prostoru lomu</i>	29
2.1.5 <i>Distribuce elektrické energie k jednotlivým zařízením technologie</i>	29
2.2 Hlavní transformovny a hlavní spínací stanice.....	30
2.2.1 <i>Transformovna TR 2</i>	30
2.2.2 <i>Transformovna TR 3</i>	32
2.2.3 <i>Rozvodna TR 4</i>	34
2.3 Distribuční trafostanice a spínací stanice	35
2.3.1 <i>Kompenzace distribučních bodů</i>	35
2.4 Napájení velkostírojů.....	37
2.5 Napájení dopravních linek.....	38
2.6 Napájení pomocných zařízení přepravy	38
2.7 Napájení čerpacích stanic	38
2.8 Kabelové rozvody.....	39
3 Měření zpětné dodávky jalové energie	41
3.1 Měření na 1. skryvkovém řezu	41
3.1.1 <i>Měření na lince V 309</i>	41
3.1.2 <i>Měření na lince V 409</i>	43
3.1.3 <i>Měření na lince V 413</i>	45
3.2 Měření na 2. skryvkovém řezu	47
3.3 Měření na 3. skryvkovém řezu	50
3.4 Měření napájecího bodu povrchového dolu – TR II.....	52
3.5 Měření napájecího bodu povrchového dolu – TR III	53
3.6 Výsledky měření.....	54

4	Možnosti dekompenzace v rámci uvažované sítě	56
4.1	Kabelová vedení 6 kV	56
4.1.1	<i>Úprava kompenzace distribučních transformátorů</i>	<i>56</i>
4.1.2	<i>Úprava kompenzačních kiosků skupinové kompenzace v distribučních bodech ...</i>	<i>57</i>
4.2	Kabelová vedení 35 kV	57
4.2.1	<i>Doplnění dekompenzačních tlumivek na kabelové vozy</i>	<i>57</i>
4.2.2	<i>Doplnění dekompenzační tlumivky na rypadla</i>	<i>58</i>
4.3	Centrální kompenzace v napájecích bodech DNT	60
5	Výběr optimální varianty dekompenzace, včetně jejího technického řešení	62
5.1	Kabelová vedení 6 kV	62
5.2	Kabelová vedení 35 kV	62
5.2.1	<i>Technické řešení dekompenzační tlumivky umístěné na rypadle</i>	<i>63</i>
6	Technicko - ekonomické zhodnocení vybrané varianty dekompenzace	70
	Závěr	72
	Seznam použité literatury	74
	Seznam obrázků	76
	Seznam tabulek	77
	Seznam příloh	79

Úvod

Pro správnou funkci elektrických strojů, přístrojů, ale také přenosových soustav, je důležité udržovat kvalitu elektrické energie ve stanovených tolerančních hodnotách. Abychom minimalizovali ztráty při přenosu elektrické energie mezi výrobou a spotřebou je nutné co nejvíce omezit přenos jalové energie po vedení. Z tohoto důvodu je odběr, nebo dodávka jalové energie u průmyslových odběrů finančně postihována. Proto je v dnešní době již obvyklé, že spotřebitelé se snaží řešit kompenzaci induktivního charakteru elektrických strojů, a tak omezit náklady na výrobu, případně se vyhnout finančnímu postihu ze strany distributora elektrické energie. Dekompenzaci vlivu kabelových vedení však již není věnováno tolik pozornosti.

U dlouhých přenosových linek vvn je běžné, že jsou vybaveny dekompenzačními tlumivkami, které omezují kapacitní charakter vedení při odlehčení zatížení přenosového vedení. Také rozsáhlejší kabelové sítě je nutné, vzhledem k jejich kapacitnímu charakteru, vybavovat dekompenzačními prostředky.

Povrchové hnědouhelné doly se vyznačují tím, že k těžbě, přepravě a zpracování uhlí se využívá elektrické energie velkých výkonů. V těžební lokalitě DNT je soustředěna těžební technologie s instalovaným výkonem 90 MVA. Tato technologie je rozmístěna na ploše dosahující velikosti až 70 km². V distribuční síti, sloužící k napájení této technologie, se mimo venkovních vedení používají také kabely na napěťové hladině 6 kV a 35 kV. Délka těchto kabelových vedení dosahuje více jak 200 km. Při odstavení technologie z provozu dochází, vlivem kapacitního charakteru kabelových vedení, k zpětné dodávce jalové energie. Povrchové doly tedy, ať už při odběru, nebo neodběru elektrické energie, významně ovlivňují nadřazenou napájecí soustavu.

Právě vliv zpětné dodávky jalové energie na nadřazenou napájecí soustavu a jeho minimalizace prostřednictvím dekompenzace je hlavním tématem této diplomové práce.

Úvodní část diplomové práce popisuje vlastnosti elektrického vedení a zabývá se vlivem kompenzačních prostředků na tyto jejich vlastnosti. V další kapitole seznamuje s rozvodem elektrické energie lokální distribuční sítě DNT a s v současné době instalovanými a používanými kompenzačními prostředky. V praktické části diplomové práce byly prostřednictvím provedených měření v lokální distribuční soustavě DNT a vyhodnocením zjištěných výsledků, určeny příspěvky zpětné dodávky jalové energie jednotlivých částí distribuční soustavy a dle těchto hodnocení navrženy možnosti dekompenzace v lokální distribuční soustavě DNT.

V závěrečné části diplomové práce je vybrána optimální varianta řešení dekompenzace a je provedeno její posouzení z technického a ekonomického hlediska.

Historie kompenzace účiníku na Dolech Nástup Tušimice

Již krátce po vzniku DNT (1960) se objevil problém s množstvím odebírané jalové energie z napájecí sítě, což při velikosti odebíraného množství energie je pochopitelné. Po letech příprav a čekání na výrobu byly v roce 1980 doly vybaveny v napájecích bodech synchronními kompenzátory, které pokrývaly potřeby dolu na množství jalové energie, v odběrných bodech z napájecí sítě. [13]

Dobývací a zakládací velkstroje byly v některých případech vybaveny rotačními kompenzátory již od výrobce. Hlavní pohony poháněcích stanic dálkové pásové dopravy byly kompenzovány individuálně statickými kondenzátory s delorovou náplní. Standardně byly motory o výkonu 250 kW kompenzovány kondenzátory s výkonem 50 kvar a motory o výkonu 500 kW kondenzátory s výkonem 100 kvar. Tento typ kondenzátorů byl po zpřísnění ekologických a hygienických norem postupně vyřazen z provozu a nahrazen vhodnějšími typy kondenzátorů. Současně byla individuální kompenzace hlavních pohonů poháněcích stanic v některých případech posílena a až na dvojnásobek původní hodnoty. [13]

Kolem roku 2000 bylo rozhodnuto o náhradě rotačních kompenzátorů, především z ekonomických důvodů, neboť spotřeba činné energie, potřebná k pohonu rotačních kompenzátorů, přepočteno na peníze, činila až 24 mil. Kč za rok. Postupně byly rotační kompenzátory nahrazeny statickou kompenzací a to jak na dobývacích strojích, tak v odběrných bodech z veřejné napájecí sítě.

Vzhledem ke ztrátám a napěťovým poměrům, vznikajícím při přenosu jalové energie v distribuční síti napájení dolu, je v posledních 15 letech snahou, kompenzovat jalovou energii co nejbližší spotřebičům jalové energie. Proto se postupně napájecí distribuční body doplňují o kompenzační kiosky, upravuje se individuální kompenzace jednotlivých pohonů dopravních linek, včetně optimalizace počtu pohonů a řeší se kompenzace velkstrojů. [13]

Díky vloženému úsilí a finančním prostředkům lze konstatovat, že kompenzace jalového výkonu induktivního charakteru (motory pohonů) dosahuje v současnosti (v napájecích bodech povrchového dolu DNT) účinku $\cos \varphi = 0,98 - 0,99$ ind.

Problematika dekompenzace kabelových rozvodů napájecí sítě DNT

Přechodem od rotačních kompenzátorů ke statické kompenzaci DNT dospěly do situace, kdy jsou plně schopny pokrýt veškerou potřebu jalové energie induktivního charakteru, spotřebované v lokální distribuční síti DNT, a to dokonce na $\cos \varphi$ s hodnotou 0,99 ind.. Po vypnutí technologických celků však dochází, vlivem převažujícího kapacitního charakteru kabelových vedení, k produkci jalové energie kapacitního charakteru, která může dosáhnout hodnot až 1,6 Mvar. Tento jalový výkon se potom následně vrací do nadřazené napájecí soustavy, kde může být příčinou problémů s přepětím, případně může přispívat k nestabilitě soustavy. Toto přepětí se také projevuje v napájecí síti DNT, kde izolačně namáhá transformátory, přístrojové vybavení a kabelové rozvody a to především v místech, kde dochází k produkci kapacitní jalové energie.

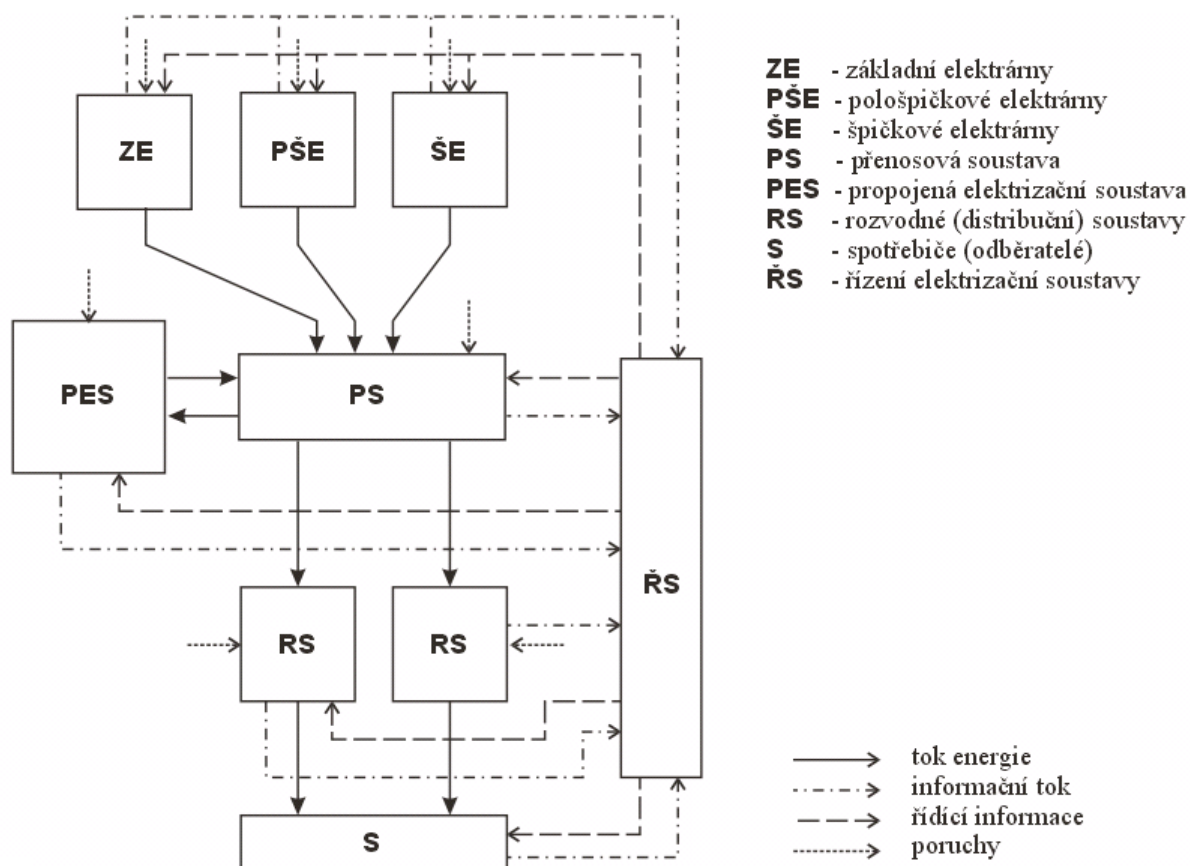
Jak již bylo řečeno, vliv kapacitního charakteru kabelových vedení se projevuje především v době, kdy je technologie odstavena z činnosti. Provozní čas technologických celků, především na závodě skrývek nadložních zemin, činní okolo 200 dní v roce. Zbytek ročního časového fondu představují především technologické odstávky, které jsou nutné k přemístění přepravní technologie, poruchy a servisní činnost. Jsou však i situace, kdy dojde k mimořádným událostem a technologie je potom odstavena i několik měsíců.

Pokud je odstavena malá část těžební technologie, je centrální kompenzace schopna, snížením počtu připojených kondenzátorů, eliminovat zpětnou dodávku jalové energie. Dojde-li však k odstavení větší části těžební technologie, centrální kompenzace již není schopna zabránit zpětné dodávce do nadřazené soustavy.

1 Kompenzace účinníku a její vliv na přenosové sítě

1.1 Elektrizační soustava

Blokové schéma elektrizační soustavy je na obr. 1.1. Zahrnuje veškerá silnoproudá zařízení, sloužící k výrobě elektrické energie, k jejímu přenosu a rozvodu, až po jednotlivé spotřebiče. Je tvořena alternátory ve výrobních elektrické energie, přenosovou soustavou a rozvodnými (distribučními) soustavami. [6]



Obr. 1.1 Blokové schéma elektrizační soustavy [6]

V ČR jsou pro přenos a rozvod elektrické energie normalizovány trojfázové napěťové soustavy s kmitočtem 50 Hz. Napěťové soustavy vvn se provozují s přímo uzemněným uzlem. Soustavy vn se provozují s nepřímým uzemněním uzlem přes zhášecí (Petersonovu) tlumivku, nebo Bauchův transformátor. Soustava 400/231V má přímo uzemněný a vyvedený nulový bod, soustava 500V se provozuje s izolovaným uzlem. [6]

Kromě hlavního zařízení, které slouží bezprostředně pro výrobu, přenos, rozvod a spotřebu elektrické energie, jsou součástí elektrizační soustavy i pomocná zařízení pro zajištění řádného, bezpečného a spolehlivého chodu hlavních zařízení. Důležitými pomocnými zařízeními jsou zařízení pro přenos informací a pro řízení elektrizační soustavy. [6]

Elektrizační soustava musí vytvářet podmínky pro zachování synchronního chodu synchronních strojů (alternátorů) soustavy a to jak při pomalých změnách stavu (statická stabilita), tak při náhlých změnách stavu a při poruchách (dynamická stabilita). Při nedodržení těchto podmínek dochází k poruše stability soustavy, projevující se kolísáním napětí, případně jeho zhroucením, ke zkratovým proudům, nebo dokonce k rozpadu celé soustavy. [6]

1.1.1 Rozvod elektrické energie

1.1.1.1 Přenosové soustavy

Jsou tvořeny venkovními vedeními, zpravidla zvn nebo vvn. Tvoří přenosovou cestu pro napájení velkých elektrických stanic nebo uzlů. Jedná se o přenos na velké vzdálenosti, a proto se kabelová vedení z ekonomických důvodů používají jen v hustě zabydlených oblastech a pro podmořské přenosy. Její součástí jsou přenosová vedení a elektrické stanice (transformovny, spínací stanice, měnící popř. kompenzovny). [6]

1.1.1.2 Rozvodné soustavy

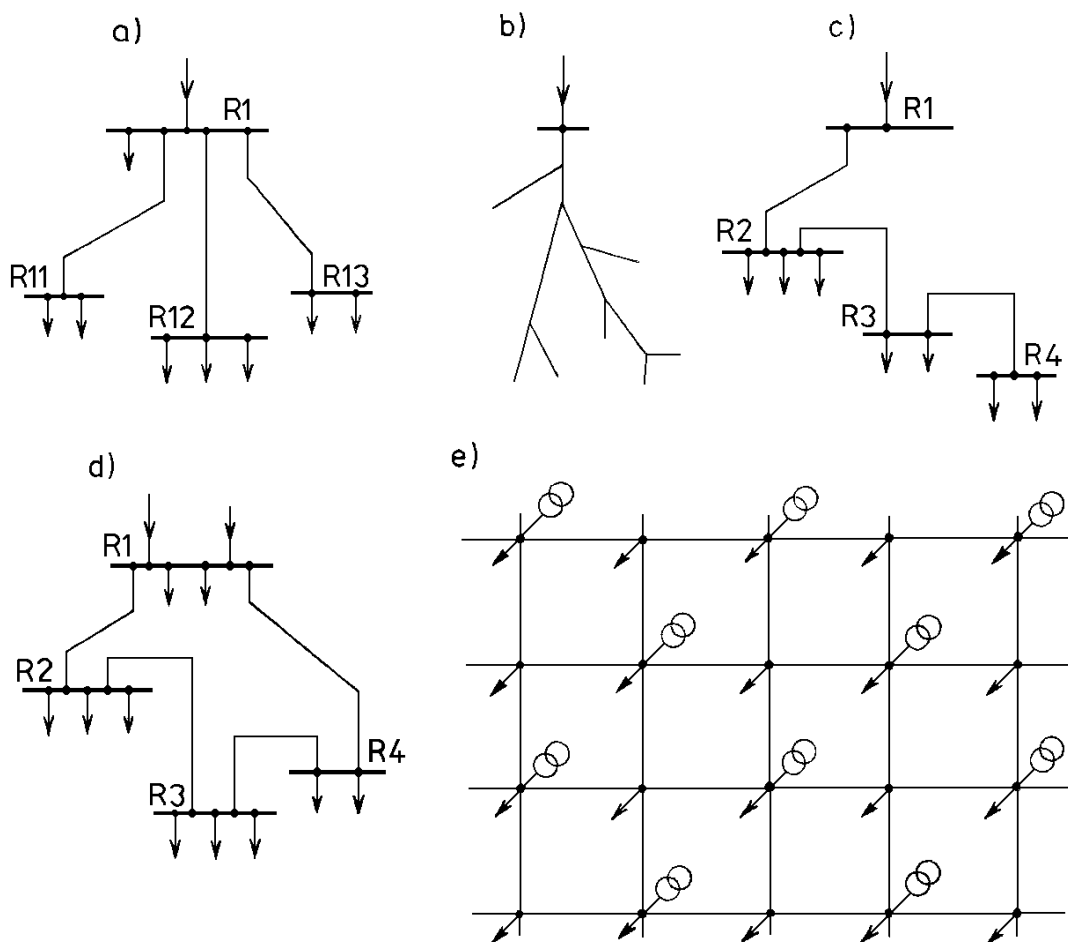
Rozvodné (distribuční) soustavy slouží k dodávce elektrické energie od výrobce jejím odběratelům. Jejich součástí jsou distribuční sítě, provedené venkovními, nebo kabelovými vedeními, elektrickými stanicemi (transformovny, spínacími stanicemi, případně měnícími) a rozvodem ke spotřebičům elektrické energie. Jejich součástí mohou být i výrobní elektrické energie, pracující přímo do sítě vn (např. v průmyslových závodech). Rozvodné soustavy jsou napájeny transformovny vvn/110 kV z přenosové soustavy a elektrickou energii rozvádějí při napětí daném ekonomikou rozvodu a napětím spotřebičů (110 kV, (35 kV), 22 kV, (10 kV), 0,4 kV a v průmyslových závodech také 6 kV a 0,5 kV). Sítě různých napětí jsou od sebe odděleny elektrickými stanicemi – transformovny. [6]

Rozvodné soustavy mohou být různého charakteru podle účelu, pro který slouží. Jiné požadavky jsou kladeny na rozvod elektrické energie v průmyslových závodech, jiné pro zemědělství, pro dopravu a jiné pro odběry v terciární sféře, tj. v obytných budovách a v zařízeních občanské vybavenosti. [6]

Na rozvodné (distribuční) soustavy jsou kladeny tyto hlavní požadavky: [6]

- rozvádění výkonu až ke spotřebitelům v požadovaném množství a dostatečné kvalitě,
- spolehlivost dodávky elektrické energie a zajištění požadovaného stupně dodávky,
- bezpečnost obsluhy a zařízení,
- bezpečnost rozvodu proti vlivům okolí,
- možnost rozšíření (z hlediska výkonu i rozsahu),
- nenáročnost na obsluhu,
- hospodárnost rozvodu.

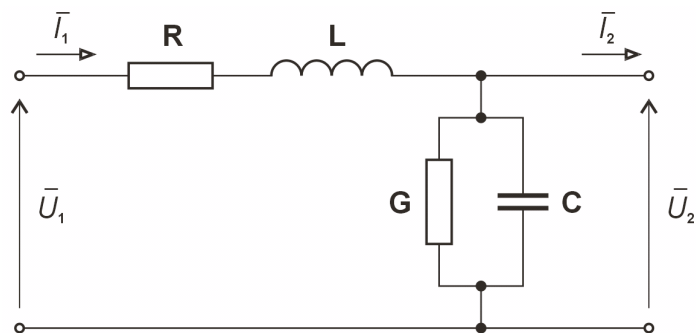
Mezi základní druhy sítí patří síť paprsková (obr. 1.2a)), stromková (obr. 1.2b)), průběžná (obr. 1.2c)), okružní (obr. 1.2d)) a mřížová (obr. 1.2e)). Jejich použití závisí na velikosti rozváděných výkonů, na rozloze zásobované oblasti a na požadované spolehlivosti dodávky elektrické energie. S ohledem větší spolehlivosti dodávky se základní druhy sítí navzájem kombinují. [6]



Obr. 1.2 Základní druhy rozvodných sítí [6]

1.1.2 Vlastnosti vedení

Každé vedení, ať přenosové či rozvodné, je jednoznačně charakterizováno čtyřmi parametry, které nazýváme jako primární. Jsou to: činný odpor R [Ω], indukčnost L [H], kapacita C [F] a svodová vodivost G [S]. Tyto parametry jsou rovnoměrně rozloženy ve vedení. [5]



Obr. 1.3 Obecný model jednofázového vedení [5]

1.1.2.1 Činný odpor vedení

Činný odpor vedení je závislý na použitém vodivém materiálu vodiče. Odpor vedení je přímo úměrný měrnému odporu vedení, délce vedení a nepřímo úměrný průřezu vedení: [5]

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad [\Omega; \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}, \text{m}, \text{mm}^2] \quad (1.1)$$

Činný odpor je udáván při teplotě 20°C. Odpor se zvyšuje s teplotou a naopak. Tato závislost je zohledněna teplotním součinitelem odporu α . Pro odpor při zvýšené teplotě potom platí vztah: [5]

$$R_{\vartheta} = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta \vartheta) \quad [\Omega; \Omega, \text{K}^{-1}, \text{K}] \quad (1.2)$$

Činný odpor je závislý také frekvenčně (skinefekt), lze tedy říci, že střídavý odpor je vyšší než stejnosměrný: [5]

$$R_{stř} = k \cdot R_{ss} \quad [\Omega; -, \Omega] \quad (1.3)$$

Pro průmyslové kmitočty je zvýšení odporu zanedbatelné ($k=1$) a skinefekt není obvykle uvažován. [5]

Měrný odpor R_0 [Ω/m] – je činný odpor obou vodičů vedení tvořících obvod o jednotkové délce: [7]

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad [\Omega] \Rightarrow R_0 = \rho \frac{2 \cdot 1}{S} \quad [\Omega \cdot \text{m}^{-1}] \Rightarrow R_k = \rho \frac{2 \cdot 10^3}{S} \quad [\Omega \cdot \text{km}^{-1}] \quad (1.4)$$

V energetických rozvodech se pro výpočet častěji používá jako měrná jednotka Ω / km . [7]

$$R = R_k \cdot l \quad [\Omega; \Omega \cdot \text{km}^{-1}, \text{km}] \quad (1.5)$$

1.1.2.2 Indukčnost vedení

Usměrněný pohyb nosičů náboje ve vodiči (elektrický proud) vytváří kolem vodiče elektromagnetické pole, které působí na okolní vodiče i na vodič samotný. Rozlišujeme **vlastní indukčnost** vodiče a **vzájemnou indukčnost** jednotlivých vedení. Odvození indukčnosti vedení vychází ze znalostí řešení elektromagnetického pole. [5]

Pro vlastní indukčnost lze odvodit vztah, který udává indukčnost vztaženou na jednotku délky vodiče (zpravidla na kilometr): [5]

$$L = 0,46 \cdot \log \frac{2 \cdot l}{r} - 0,15 \quad [\text{mH} \cdot \text{km}^{-1}; \text{m}, \text{m}] \quad (1.6)$$

Pro vzájemnou indukčnost na kilometr platí vztah: [5]

$$M = 0,46 \cdot \log \frac{2 \cdot l}{d} - 0,2 \quad [\text{mH} \cdot \text{km}^{-1}; \text{m}, \text{m}] \quad (1.7)$$

Oba uvedené vztahy v sobě již zahrnují hodnotu permeability.

Výsledná indukčnost trojfázového vedení (obecně) je dána vztahem: [5]

$$L_k = 0,46 \cdot \log \frac{d_s}{r_e} + \frac{0,05}{n} \quad [\text{mH} \cdot \text{km}^{-1}; \text{m}, \text{m}] \quad (1.8)$$

kde d_s je střední hodnota vzdálenosti vodičů, kterou vypočteme ze vzorce: [5]

$$d_s = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{13} \cdot d_{23}} \quad [\text{m}; \text{m}, \text{m}, \text{m}, \text{m}] \quad (1.9)$$

a r_e je ekvivalentní poloměr svazkového vodiče (n je počet vodičů ve svazku): [5]

$$r_e = \sqrt{r \cdot a_{12} \cdot a_{13} \cdot \dots \cdot a_{1n}} \quad [\text{m}; \text{m}, \text{m}, \text{m}, \dots \text{m}] \quad (1.10)$$

Indukční reaktance vedení je potom dána vztahem:

$$X_k = \omega \cdot L_k \cdot 10^{-3} \quad [\Omega \cdot \text{km}^{-1}; \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}, \text{H} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (1.11)$$

kde ω je úhlový kmitočet:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad [\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}; \text{rad}, \text{s}^{-1}] \quad (1.12)$$

Indukčnost vedení je závislá hlavně na vzdálenosti vodičů (dáno velikostí napětí). Podle napěťové hladiny vedení a uspořádání (jednoduché nebo dvojité vedení, je možno přibližně určit indukčnost (induktivní reaktanci) vedení. [5]

Indukčnost kabelů je nižší, než u venkovního vedení o stejných přenosových schopnostech.

1.1.2.3 Kapacita vedení

Kolem vodiče se vytváří elektrické pole, které působí na okolní vodiče i na vodič samotný. Proto vykazuje každé elektrické vedení kapacitu. Odvození kapacity vedení vychází ze znalostí řešení elektrostatického pole. Při odvození kapacity vedení se vychází ze vztahu pro elektrický potenciál: [5]

$$U = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon} \ln \frac{\rho_0}{\rho} \quad [\text{V}; \text{C} \cdot \text{m}^{-1}, \text{F} \cdot \text{m}^{-1}, \text{m}, \text{m}] \quad (1.13)$$

Výsledná kapacita trojfázového vedení (obecně) je dána vztahem: [5]

$$C_k = \frac{0,242}{\log \frac{d_s}{r_e}} \quad [\mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1}; \text{m}, \text{m}] \quad (1.14)$$

Kapacitní reaktance vedení je potom dána vztahem:

$$X_k = \frac{1}{\omega \cdot C_k} \quad \left[\Omega \cdot \text{km}^{-1}; \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}, \text{F} \cdot \text{km}^{-1} \right] \quad (1.15)$$

a **kapacitní vodivost** (susceptance):

$$B_k = \omega \cdot C_k \quad \left[\mu\text{S} \cdot \text{km}^{-1}; \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}, \text{F} \cdot \text{km}^{-1} \right] \quad (1.16)$$

1.1.2.4 Svodová vodivost

Způsobuje činné ztráty vznikající znečištěním povrchu izolátorů, zmenšením izolačního odporu vlivem špatného počasí nebo zhoršením stavu izolace (např. stárnutím). Tyto ztráty jsou určeny vztahem: [6]

$$\Delta P_{zs} = 3 \cdot U_f^2 \cdot G = U_s^2 \cdot G \quad \left[\text{W} \cdot \text{km}^{-1}; \text{V}, \text{S} \right] \quad (1.17)$$

V kabelech vznikají ztráty dielektrickou hysterezi: [6]

$$\Delta P_{Zh} = U_s \cdot I_0 \cdot \text{tg} \delta \quad \left[\text{W} \cdot \text{km}^{-1}; \text{V}, \text{S}, - \right] \quad (1.18)$$

Ztrátový činitel $\text{tg} \delta = 0,002$ až $0,008$.

Ztráty dielektrickou hysterezi činí cca 1,6 až 3,6 % ztrát v mědi.

Korona je doutnavý výboj na vedení, který vzniká při překročení dielektrické pevnosti vzduchu. Na koronu má vliv počasí, jakost a znečištění povrchu, poloměr vodiče, ale také hustota vzduchu a jeho teplota. Ztráty korunou ve vedení lze snížit použitím svazkových vodičů. Z ekonomických důvodů není možné udržovat intenzitu elektrického pole trvale pod hodnotou menší než $21 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ (vznik doutnavého výboje), je však nutné dbát aby ztráty nebyly příliš velké. Ztráty korunou jsou vyjádřeny empirickým vztahem: [6]

$$\Delta P_{zk} = \frac{0,18}{\vartheta} \sqrt{\frac{r_e}{d_s} (U - U_{krs})^2} \quad \left[\text{kW} \cdot \text{km}^{-1}; \text{K}, \text{m}, \text{m}, \text{V}, \text{V} \right] \quad (1.19)$$

Příčná vodivost se stanoví ze ztrát svodem a korunou: [6]

$$G_k = \frac{\Delta P_{zs} + \Delta P_{zk}}{U_s^2} \quad \left[\text{S} \cdot \text{km}^{-1}; \text{W}, \text{W} \cdot \text{km}^{-1}, \text{V} \right] \quad (1.20)$$

1.1.2.5 Imittance

Činný odpor R a indukčnost L tvoří tzv. *podélnou impedanci* vedení, která je vyjádřena vztahem:

$$\bar{Z} = R + j\omega L \quad [\Omega; \Omega, \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}, \text{H}] \quad (1.21)$$

Reálná složka podélné impedance je vyjádřena činným odporem, imaginární část je vyjádřena induktivní reaktancí ($X_L = \omega L$). [5]

Svodová vodivost G a kapacita vedení C tvoří tzv. *příčnou admitanci* vedení, která je vyjádřena vztahem: [5]

$$\bar{Y} = G + j\omega C \quad [\text{S}; \text{S}, \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}, \text{F}] \quad (1.22)$$

Reálná složka příčné admitance je vyjádřena svodovou vodivostí, imaginární část je vyjádřena kapacitní susceptancí ($B_C = 1/\omega C$). [5]

1.1.2.6 Obvod s rozprostřenými parametry

U některých elektrických soustav nemůžeme s dostatečnou přesností oddělit elektrickou a magnetickou energii a soustředit je do prostorově malých částí obvodu. U těchto soustav se pak projevuje konečná rychlost šíření elektromagnetického pole. Je tedy třeba počítat s geometrickým uspořádáním soustavy – napětí a proudy v jejích jednotlivých částech jsou nejen funkcí času, ale také geometrických souřadnic. Řešení takových soustav se přibližuje problematice, kterou zkoumá teorie elektromagnetického pole. [9]

Rozhodnutí, zda budeme určitou soustavu modelovat obvodem se soustředěnými či rozprostřenými parametry, je závislé na geometrických rozměrech soustavy, na rychlosti změn elektromagnetického pole (pokud se mění harmonicky, tak na jeho kmitočtu) a na rychlosti, jíž se šíří vlny obvodem. Při harmonicky proměnném elektromagnetickém poli je délka postupné vlny: [9]

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad [\text{m}; \text{m} \cdot \text{s}^{-1}, \text{Hz}] \quad (1.23)$$

Rychlost šíření elektromagnetické vlny je dána vlastnostmi okolního prostředí vodiče: [9]

$$v = \frac{c}{\sqrt{\mu \cdot \epsilon}} = \frac{1}{\sqrt{\mu_r \cdot \epsilon_r}} = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} = \frac{1}{\sqrt{L_k \cdot C_k}} \quad (1.24)$$

Obvodem se soustředěnými parametry lze modelovat jen takové soustavy, jejichž geometrické rozměry jsou zanedbatelné v porovnání s délkou vlny. [9]

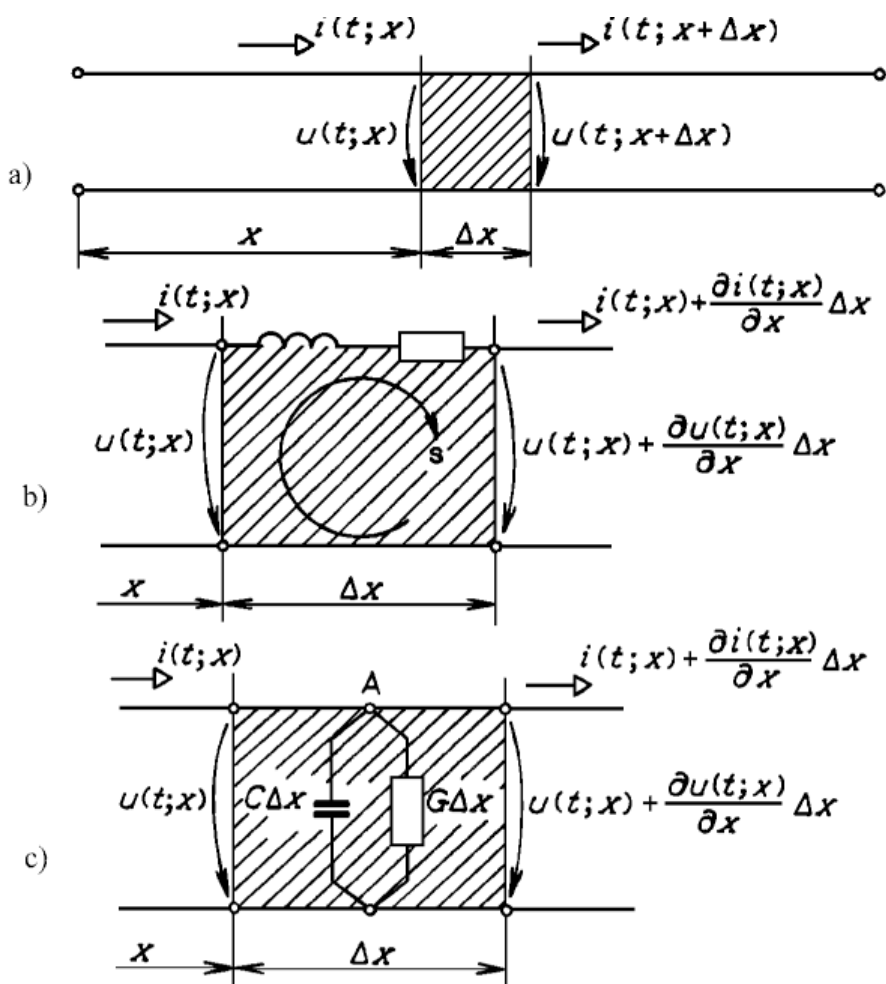
Vedení používaná v silnoproudé elektrotechnice se provádí jako vedení venkovní, u nichž jsou neizolované vodiče zavěšeny na izolátorech upevněných na konzolách stožárů, nebo jako vedení kabelová, jejichž vodiče jsou izolovány různými dielektriiky, jsou chráněny pláštěm (kovovým nebo plastovým) a uloženy v zemi, ve vodě apod.. [9]

1.1.2.7 Střídavé vedení s rozprostřenými parametry

Základní parametry vedení (R , L , C , G) se udávají na jednotku délky vedení – obvykle na 1 km. Tyto parametry považujeme pro dané vedení za konstanty. V libovolné vzdálenosti od začátku vedení si vymezíme dvojbran (obr. 1.4 a)). Aby výstupní veličiny měly stejné nezávislé proměnné jako vstupní veličiny (tj. čas t a délkovou souřadnici x) rozvineme výstupní veličiny v Taylorovu řadu při zanedbání členů s 2. a vyšší derivací: [9]

$$u(t, x + \Delta x) = u(t, x) + \frac{\partial u(t, x)}{\partial x} \Delta x \dots$$

$$i(t, x + \Delta x) = i(t, x) + \frac{\partial i(t, x)}{\partial x} \Delta x \dots$$



Obr. 1.4 Odvození rovnic homogenního vedení [9]

Podélné vlastnosti elementárního dvojbranu (obr. 1.4 b)) jsou charakterizovány podélnou impedancí a příčné vlastnosti (obr. 1.4 c)) jsou charakterizovány příčnou admitancí. Na smyčce s a uzlem A aplikujeme druhý a první Kirchhoffův zákon. Po úpravě dostaneme tzv. **telegrafní rovnice**: [9]

$$\begin{aligned} -\frac{\partial u(t, x)}{\partial x} &= R \cdot i(t, x) + L \frac{\partial i(t, x)}{\partial t} \\ -\frac{\partial i(t, x)}{\partial x} &= G \cdot u(t, x) + C \frac{\partial u(t, x)}{\partial t} \end{aligned} \quad (1.25)$$

Místo dvojice rovnic prvního řádu pro napětí a proud je někdy výhodné pracovat s jedinou rovnicí 2. řádu pro napětí, nebo pro proud. Eliminací proudu i získáme tzv. **vlnovou rovnici pro napětí**: [9]

$$-\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + RG u + (LG + RC) \frac{\partial u}{\partial t} + LC \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0 \quad (1.26)$$

Podobně eliminací napětí u získáme tzv. **vlnovou rovnici pro proud**: [9]

$$-\frac{\partial^2 i}{\partial x^2} + RG i + (LG + RC) \frac{\partial i}{\partial t} + LC \frac{\partial^2 i}{\partial t^2} = 0 \quad (1.27)$$

Napětí a proud se v kterémkoliv místě vedení mění s časem podle sinové funkce. Při komplexní reprezentaci vyjádříme napětí a proud pomocí fázorů: [9]

$$u(t, x) \Leftrightarrow U(x) \angle \omega t, \quad i(t, x) \Leftrightarrow I(x) \angle \omega t$$

Fázory U , I již nejsou komplexní konstanty (jako při ustálených stavech v obvodech se soustředěnými prvky), nýbrž jsou to **komplexní funkce** proměnné x . Telegrafní rovnice pak nabývají tvar: [9]

$$-\frac{dU(x)}{dx} = (R + j\omega L) \cdot I(x) \quad (1.28a)$$

$$-\frac{dI(x)}{dx} = (G + j\omega C) \cdot U(x) \quad (1.28b)$$

Podobně lze pomocí fázorů zapsat vlnové rovnice: [9]

$$-\frac{d^2 U}{dx^2} - (R + j\omega L) \cdot (G + j\omega C) \cdot U(x) = 0 \quad (1.29)$$

$$-\frac{d^2 I}{dx^2} - (R + j\omega L) \cdot (G + j\omega C) \cdot I(x) = 0 \quad (1.30)$$

Řešení vlnové rovnice (1.29) potom je: [9]

$$U(x) = A \cdot e^{\gamma x} + B \cdot e^{-\gamma x} \quad (1.31)$$

kde komplexní konstanta [9]

$$\bar{\gamma} = \sqrt{(R + j\omega L) \cdot (G + j\omega C)} \quad [-; \Omega, \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}, \text{H}, \text{S}, \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}, \text{F}] \quad (1.32)$$

se nazývá **konstantou šíření** a **A**, **B** jsou integrační konstanty. [9]

Řešení rovnice (1.30) získáme z rovnice (1.28a) : [9]

$$I(x) = -\frac{1}{R + j\omega L} \frac{dU}{dx} \quad (1.33)$$

za U dosadíme z rovnice (1.31) [9]

$$I(x) = -\frac{A}{Z_v} \cdot e^{\gamma \cdot x} + \frac{B}{Z_v} \cdot e^{-\gamma \cdot x} \quad (1.34)$$

kde komplexní konstanta Z_v se nazývá **vlnová impedance vedení**: [9]

$$\bar{Z}_v = \sqrt{\frac{(R + j\omega L)}{(G + j\omega C)}} \quad [\Omega; \Omega, \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}, \text{H}, \text{S}, \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}, \text{F}] \quad (1.35)$$

Vlnová impedance vedení Z_v a konstanta šíření γ charakterizují vlastnosti vedení. Nazýváme je **sekundárními** (provozními) **parametry** vedení. [9]

Integrační konstanty A , B určíme z okrajových podmínek, např. napětí a proudu na začátku vedení. Fázor napětí a proudu, v kterémkoli místě „ x “ vedení, je pak vyjádřen rovnicí: [9]

$$\begin{bmatrix} U(x) \\ I(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh \bar{\gamma} x & -\bar{Z}_v \sinh \bar{\gamma} x \\ -\frac{1}{\bar{Z}_v} \sinh \gamma x & \cosh \bar{\gamma} x \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} \quad (1.36)$$

Konstanta šíření γ má komplexní tvar, jehož činnou složku tvoří **konstanta tlumení β** a jalovou složku tvoří **konstanta posunutí fáze α** : [9]

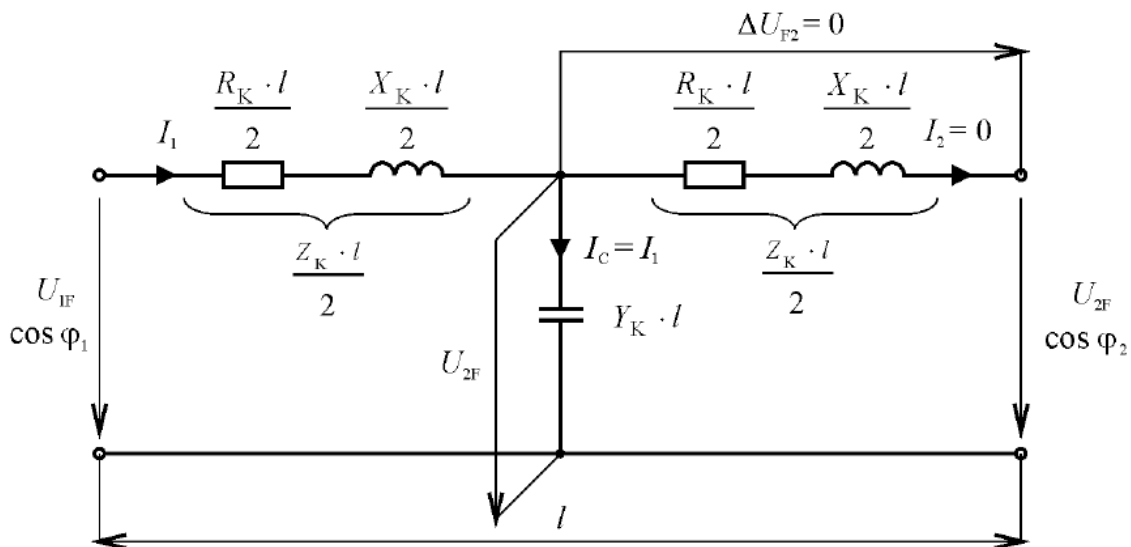
$$\bar{\gamma} = \beta + j\alpha = \sqrt{(R + j\omega L) \cdot (G + j\omega C)} \quad (1.37)$$

$$\Rightarrow \beta = \sqrt{\frac{1}{2}(RG - \omega^2 LC) + \frac{1}{2}\sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)(G^2 + \omega^2 C^2)}} \quad (1.38)$$

$$\Rightarrow \alpha = \sqrt{\frac{1}{2}(\omega^2 LC - RG) + \frac{1}{2}\sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)(G^2 + \omega^2 C^2)}} \quad (1.39)$$

1.1.2.8 Ferrantiho jev

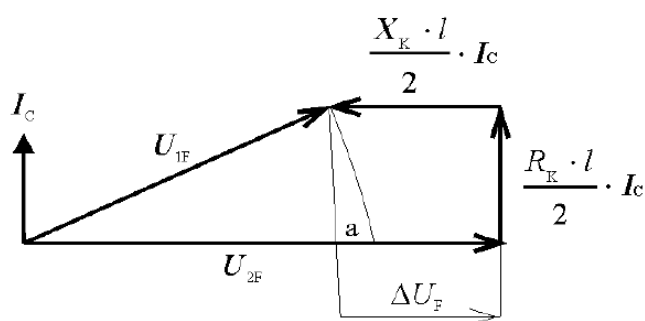
Při dlouhém vedení naprázdno, nebo při zatížení, nižším než je přirozený výkon vedení, dochází na konci vedení k navýšení napětí. Jedná se o formu provozního přepětí. [17]



Obr. 1.5 Model jednofázového vedení jako T článek pro výpočet Ferrantiho jevu [17]

Protože při provozu naprázdno není na konci vedení připojen odběr, je $I_2 = 0$. Proto můžeme zanedbat pravou část podélné impedance, na které je nulový úbytek napětí ($\Delta U_{F2} = 0$). Na příčné admittanci $Y_K \cdot l$ je tedy přímo napětí U_{2F} . [17]

Zanedbáním činné složky příčné admittance ($G_K = 0$), protéká při chodu vedení naprázdno příčnou větví čistě kapacitní proud I_C , který současně protéká levou částí podélné impedance ($I_1 = I_C$). Vedením protéká pouze tzv. nabíjecí proud vedení I_C . [17]



Obr. 1.6 Fázorový diagram jednofázového vedení ve stavu Ferrantiho jevu [17]

Z diagramu je vidět, že napětí na konci vedení je větší než na jeho začátku. Na vedení vznikne místo úbytku přírůstek napětí. (záporný úbytek napětí). [17]

1.1.2.9 Vlnová impedance vedení

Budeme-li vedení postupně zatěžovat zvyšujícím se odběrem ze stavu naprázdno, nastane v určitém okamžiku stav, kdy se napětí na konci vedení rovná napětí na začátku vedení ($U_{1f} = U_{2f}$). V tomto okamžiku dojde k vyrovnání impedance zátěže tzv. **vlnové impedance vedení** Z_v . [17]

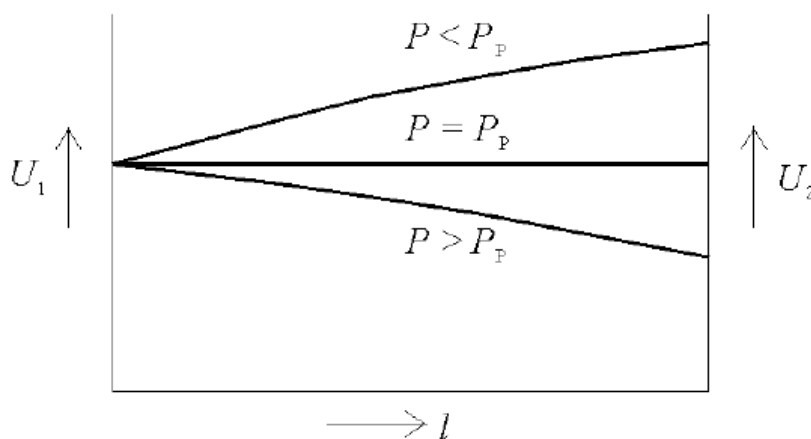
Velikost vlnové impedance vedení je závislá na geometrických rozměrech vedení a vlastnostech dielektrika (permitivita ϵ_r a permeabilita μ_r). [17]

1.1.2.10 Přirozený výkon vedení

Při vyrovnání impedance zátěže a impedance vedení se vedením přenáší tzv. přirozený výkon vedení. Při přenosu přirozeného výkonu nastává na vedení nejpříznivější provozní stav, kdy ztráty při přenosu jsou nejnižší. Tyto ztráty jsou způsobeny pouze činným odporem vedení, protože energie elektrického a magnetického pole jsou stejně velké. Vzhledem k tomu, že působí proti sobě, vzájemně se vyruší. [17]

Při přenosu výkonu P , který je menší než přirozený výkon P_p , je napětí na konci vedení vyšší než na jeho začátku. [17]

Při přenosu výkonu P , který je větší než přirozený výkon P_p , je napětí na konci vedení nižší než na jeho začátku. [17]



Obr. 1.7 Přirozený výkon vedení [17]

Přirozený výkon vypočteme ze vzorce: [17]

$$P_p = 3 \cdot U_f \cdot I = 3 \cdot U_f \cdot \frac{U_f}{Z_v} = 3 \cdot \frac{U_f^2}{Z_v} = 3 \cdot \left(\frac{U_s}{\sqrt{3}} \right)^2 \cdot \frac{1}{Z_v} = 3 \cdot \frac{U_s^2}{3 \cdot Z_v} = \frac{U_s^2}{Z_v} \quad (1.40)$$

Velikost přirozeného výkonu závisí především na velikosti provozního napětí (jeho kvadrátu) a na vlastnostech vodiče a dielektrika. Přirozený výkon P_p venkovních vedení bývá zpravidla desetkrát nižší než u kabelových vedení. [17]

1.2 Teorie řízení výkonových toků

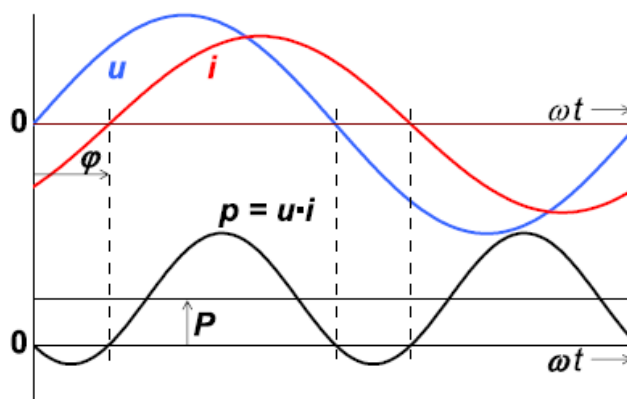
1.2.1 Základní definice

Zdánlivý výkon S (apparent power)

je matematicky vytvořená veličina pro jednofázové (dvoupólové) obvody, jako součin efektivní hodnoty fázového napětí U a fázového proudu I : [14]

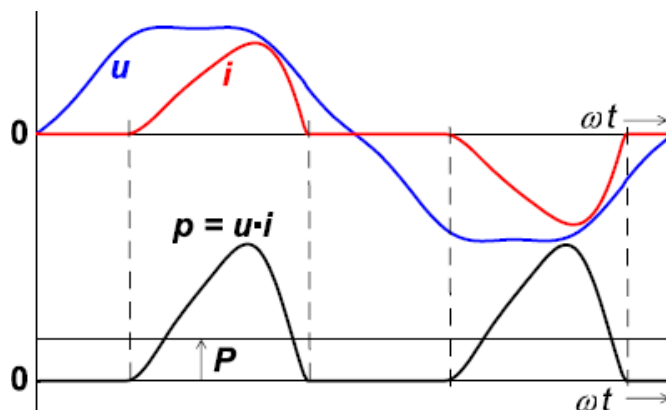
$$S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad [\text{VA}] \quad (1.41)$$

Pozn. Platí pro sinusový průběh napětí U a proudu I .



Obr. 1.8 Jednofázový systém se sinusovými průběhy [14]

a pro třífázové obvody jako součet zdánlivých výkonů v jednotlivých fázích. Je to veličina, která souhrnně vyjadřuje požadavky na napěťové a proudové dimenzování jednotlivých částí elektroenergetického systému - zdánlivý výkon určuje velikost transformátorů, přenosovou schopnost rozvodných vedení, apod.. [14]



Obr. 1.9 Jednofázový systém s obecně periodickými průběhy [14]

Existence harmonických zvyšuje zdánlivý výkon o tzv. **deformační výkon**, který reprezentuje vliv harmonických složek. Vzorec pro výpočet zdánlivého výkonu potom je: [14]

$$S = U \cdot I = \sqrt{\sum_{h=0}^{\infty} U_h^2} \cdot \sqrt{\sum_{h=0}^{\infty} I_h^2} = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (1.42)$$

Činný výkon P (active power)

je střední hodnota okamžitého výkonu, což je fyzikální veličina, která vyjadřuje množství elektrické energie **W**, přenesené (vyrobené, spotřebované) v časovém intervalu **T**, přepočtené na časovou jednotku: [14]

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) \cdot dt = \frac{W}{T} = \sqrt{S^2 - D^2} \cdot \cos \varphi_1 \quad [W] \quad (1.43)$$

Pro neharmonický průběh napětí a proudu se rovná součtu činných výkonů jednotlivých harmonických: [14]

$$P = \sum_{h=0}^{\infty} P_h \quad [W]$$

Jalový výkon Q (reactive power)

reprezentuje střídavou složku okamžitého výkonu, tj. energii periodicky se přelévající mezi zdrojem a zátěží. Jeho střední hodnota je nulová. [14]

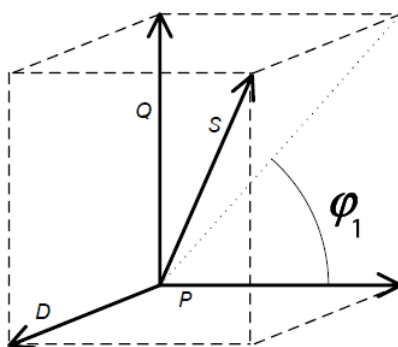
$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \cdot \sin \varphi_1 \quad [var] \quad (1.44)$$

Deformační výkon D (torsion power)

reprezentuje výkon přenášený harmonickými složkami: [14]

$$D = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} U_h^2} \cdot \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2} = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad [VA] \quad (1.45)$$

Pozn. Jalový a deformační výkon se společně označují jako neaktivní výkon (non-active power).



Obr. 1.10 Vztah mezi výkony [14]

Účinník $\cos \varphi_1$

neboli účinník první harmonické, je kosinus úhlu fázového posunu mezi 1. harmonickou napětí a proudem: [14]

$$\cos \varphi_1 = \cos \left(\arctg \frac{Q}{P} \right) \quad [-] \quad (1.46)$$

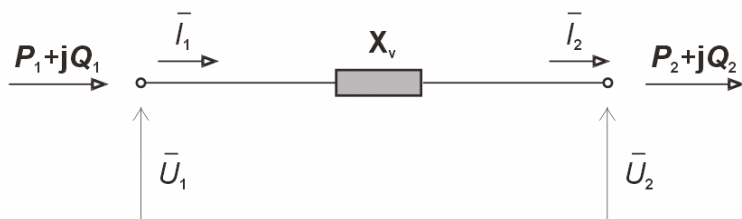
Skutečný účinník (power factor)

je účinník, který v sobě zahrnuje i deformační výkon, tedy vliv harmonických proudů a napětí. Je významným ukazatelem, stanoveným, jako poměr činného výkonu P a zdánlivého výkonu S : [14]

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{U_0 I_0 + U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + \dots + U_n I_n \cos \varphi_n}{U \cdot I} \quad [-] \quad (1.47)$$

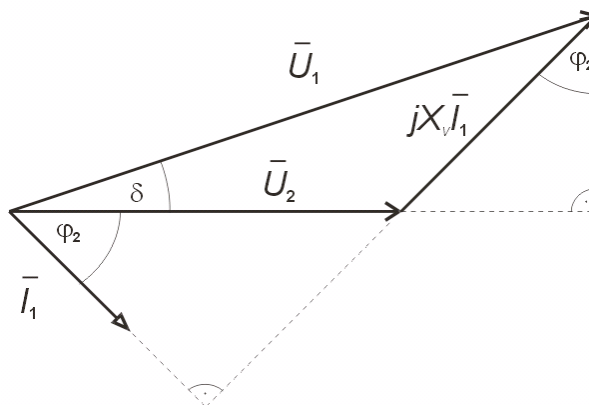
1.2.2 Výkonové toky na vedení

Výkonové toky na linkách elektrizační soustavy mohou být ovlivněny změnou základních elektrických parametrů, zejména impedancí vedení a uzlovými napětími. Reaktance bývá většinou mnohonásobně větší než odpor vedení, proto se většinou zanedbává: [12]



Obr. 1.11 Přenosová linka [12]

Na základě fázorového diagramu lze odvodit výkonové rovnice popisující toky výkonů na obou koncích vedení: [12]



Obr. 1.12 Fázorový diagram vedení [12]

Pro **výkon na začátku vedení** platí: [12]

$$\bar{S}_1 = P_1 + jQ_1 = \bar{U}_1 \cdot \bar{I}_1^* \quad (1.48)$$

$$\Rightarrow P_1 = \operatorname{Re} \left\{ \bar{U}_1 \cdot \left(\frac{\bar{U}_1 - \bar{U}_2}{jX_v} \right)^* \right\} \quad (1.49)$$

$$\Rightarrow Q_1 = \operatorname{Im} \left\{ \bar{U}_1 \cdot \left(\frac{\bar{U}_1 - \bar{U}_2}{jX_v} \right)^* \right\} \quad (1.50)$$

Pro **bezeztrátové vedení** platí pro **činné výkony**: [12]

$$P_2 = U_2 I_1 \cos \varphi_2 \quad (1.51)$$

$$X_1 I_1 \cos \varphi_2 = U_1 \sin \delta \quad (1.52)$$

$$I_1 \cos \varphi_2 = \frac{U_1}{X_v} \sin \delta \quad (1.53)$$

$$P_2 = \frac{U_1 U_2}{X_v} \sin \delta = P_1 \quad (1.54)$$

Podobně můžeme získat vztahy pro **jalové výkony**: [12]

$$Q_2 = U_2 I_1 \sin \varphi_2 \quad (1.55)$$

$$I_1 \sin \varphi_2 = \frac{U_1}{X_v} \cos \delta - \frac{U_2}{X_v} \quad (1.56)$$

$$X_1 I_1 \sin \varphi_2 + U_2 = U_1 \cos \delta \quad (1.57)$$

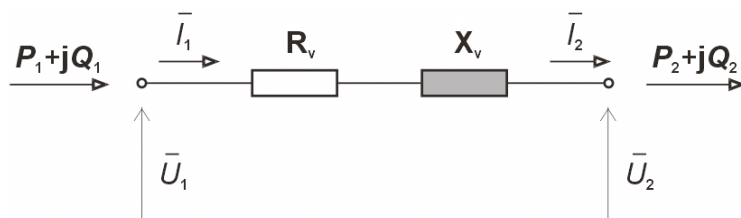
$$Q_2 = \frac{U_1 U_2}{X_v} \cos \delta - \frac{U_2^2}{X_{v1}} \quad (1.58)$$

Pro zvýšení přenášeného činného výkonu je možné: [12]

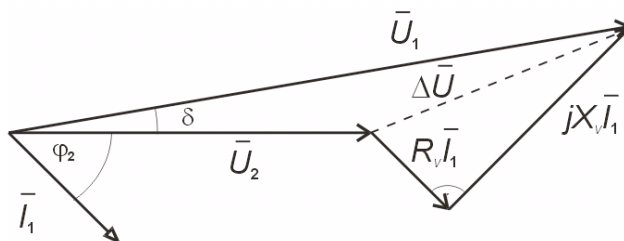
- zvýšit amplitudy uzlových napětí na koncích vedení (regulace napětí)
- snížit reaktanci vedení (sériová kompenzace)
- zvýšit úhel přenosu (fázový posun)

1.2.3 Vliv odporu přenosové linky

Na nižších napěťových hladinách je třeba odpor již uvažovat. Proto je vhodné provést přesnější odvození pro výkonové vztahy při uvažování nenulového odporu vedení. [12]



Obr. 1.13 Přenosová linka s nenulovým odporem [12]



Obr. 1.14 Fázorový diagram vedení s nenulovým odporem

Pro **výkony na začátku vedení** potom platí: [12]

$$\bar{S}_1 = P_1 + jQ_1 = \bar{U}_1 \cdot \bar{I}_1^* = \bar{U}_1 \cdot \left(\frac{\bar{U}_1 - \bar{U}_2}{R + jX} \right)^* \quad (1.59)$$

$$\Rightarrow P_1 = \operatorname{Re} \left\{ \bar{U}_1 \cdot \left(\frac{\bar{U}_1 - \bar{U}_2}{R_v + jX_v} \right)^* \right\} = \frac{U_1^2 R_v - U_1 U_2 R_v \cos \delta + U_1 U_2 X_v \sin \delta}{R_v^2 + X_v^2} \quad (1.60)$$

$$\Rightarrow Q_1 = \operatorname{Im} \left\{ \bar{U}_1 \cdot \left(\frac{\bar{U}_1 - \bar{U}_2}{R_v + jX_v} \right)^* \right\} = \frac{U_1^2 X_v - U_1 U_2 X_v \cos \delta - U_1 U_2 R_v \sin \delta}{R_v^2 + X_v^2} \quad (1.61)$$

Pro **výkony na konci vedení** platí: [12]

$$\bar{S}_2 = P_2 + jQ_2 = \bar{U}_2 \cdot \bar{I}_2^* = \bar{U}_2 \cdot \left(\frac{\bar{U}_1 - \bar{U}_2}{R + jX_v} \right)^* \quad (1.62)$$

$$\Rightarrow P_2 = \frac{U_1 U_2 R_v \cos \delta - U_1 U_2 X_v \sin \delta - U_2^2 R_v}{R_v^2 + X_v^2} \quad (1.63)$$

$$\Rightarrow Q_1 = \frac{U_1 U_2 X_v \cos \delta - U_1 U_2 R_v \sin \delta - U_2^2 R_v}{R_v^2 + X_v^2} \quad (1.64)$$

V případě bezztrátového vedení je činný výkon stejný na začátku i na konci vedení. Při respektování odporu, dojde vzhledem ke ztrátám na vedení k navýšení P_1 a ke snížení P_2 , tím výrazněji, čím je vyšší úhel přenosu. Navíc dojde k posunu maxima přenášeného výkonu, pro začátek vedení nad 90° , pro konec vedení pod 90° . [12]

Mají-li obě koncová napětí shodné amplitudy, je pro případ bezztrátového vedení absorbovaný jalový výkon dodáván rovnoměrně z obou konců vedení. Při respektování odporu a kladném toku činného výkonu z uzlu 1 do uzlu 2 dochází v běžném rozsahu úhlů přenosu ke snížení výkonu Q_1 a zvýšení výkonu Q_2 . Zároveň se objevuje posun maxima jalového výkonu, pro začátek vedení nad 180° , pro konec pod 180° . [12]

1.2.4 Principy řízení výkonových toků

Za účelem řízení toku činného a jalového výkonu je možné ovlivňovat jeden nebo více parametrů ve vztazích (1.49) (1.50) a (1.54) pomocí různých výkonových prvků a zařízení. Základními možnostmi jsou instalace některého z uvedených systémů: [12]

- paralelní pasivní prvek,
- sériový pasivní prvek,
- paralelní vstřikování proudu,
- sériové vstřikování napětí,
- kombinace více prostředků.

1.2.4.1 Paralelní pasivní prvek

Paralelní zařízení v zásadě ovlivňují napětí v místě jejich připojení. Jsou-li připojena v bodech soustavy s velkou napěťovou citlivostí, lze změnou napětí významně ovlivnit i toky výkonů. [12]

Paralelní tlumivky jsou využívány pro kompenzaci přebytku jalového výkonu v případech malých odběrů, nebo vedení naprázdno. U některých dlouhých vedení bývají tyto tlumivky trvale připojeny k soustavě, aby bylo eliminováno nebezpečí přepětí při náhlém odlehčení, nebo odpojení zátěže. [12]

Paralelní kondenzátory slouží k efektivní kompenzaci jalového výkonu induktivní zátěže. [12]

Při připojení paralelního kondenzátoru dojde ke změně fázoru proudu, a sice z velikosti I' na velikost I_K , jak je zobrazeno ve zjednodušeném schématu a vektorovém diagramu na obr. 1.15. Celkový proud vedení se potom změní na: [8]

$$\bar{I}_K = \bar{I}' + \bar{I}_C \quad (1.65)$$

Za předpokladu, že činný výkon zůstane konstantní, změní se po připojení kondenzátoru fázový posuv z hodnoty φ na hodnotu φ_K a poměr jalových složek proudů I_{jK} a I_j bude stejný jako tangenty příslušných úhlů: [8]

$$\frac{I_{jK}}{I} = \frac{\operatorname{tg} \varphi_K}{\operatorname{tg} \varphi} = k \quad (1.66)$$

Tzv. stupeň kompenzace obdržíme, odečteme-li koeficient kompenzace od jedné: [8]

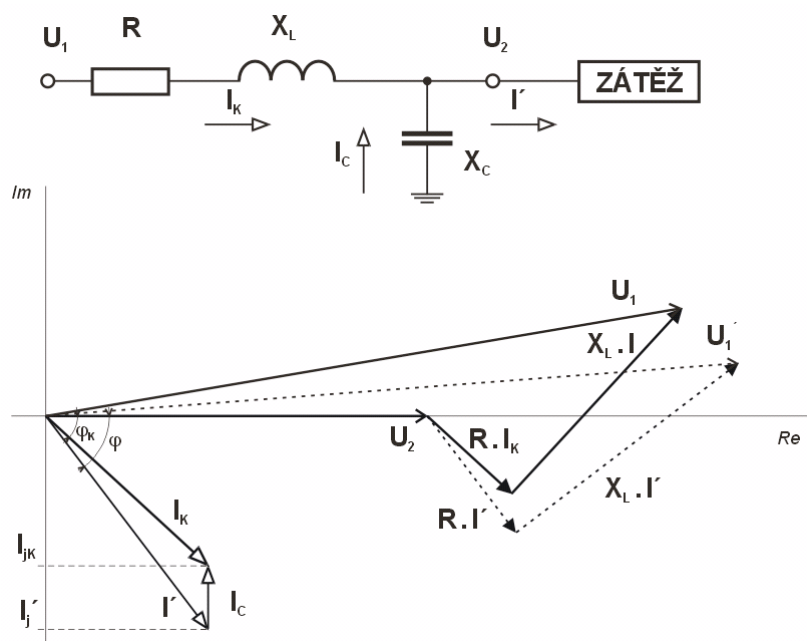
$$k_p = 1 - k = \frac{I - I_{jK}}{I_j} = \frac{I_C}{I_j} = \frac{\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi_K}{\operatorname{tg} \varphi} \quad (1.67)$$

výkon kondenzátoru potřebný ke změně fázového posuvu z hodnoty φ na hodnotu φ_K : [8]

$$Q_C = U \cdot I_C = U_2 \cdot \bar{\omega} \cdot C = P \cdot (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi_K) \quad (1.68)$$

ztráty ušetřené kompenzací: [8]

$$\Delta P_{us} = \Delta P - \Delta P_K = \frac{R}{U_s^2} \cdot [(P^2 + Q^2) - P^2 + (Q - Q_C)^2] = \frac{R}{U_s^2} \cdot [Q_C \cdot (2Q - Q_C)] \quad (1.69)$$



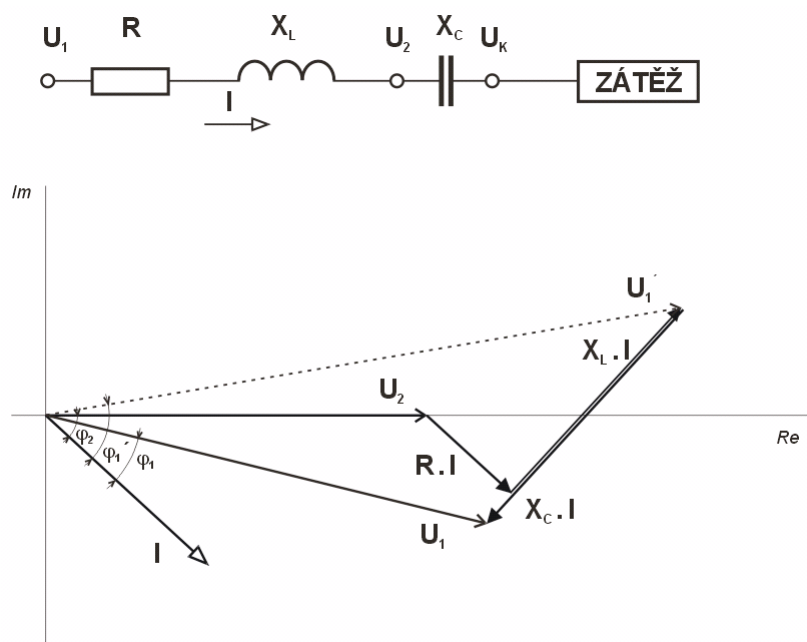
Obr. 1.15 Střídavá síť s paralelním kondenzátorem [8]

Snížování ztrát při přenosu elektrické energie pomocí paralelní kompenzace je jedním z nejdůležitějších a ekonomicky nejvýhodnějších opatření. Ostatní metody, jako např. zvyšování průřezu vedení, zvyšování jmenovitého napětí apod., jsou ekonomicky méně výhodné a technicky často obtížně proveditelné. [8]

1.2.4.2 Sériový pasivní prvek

Vložení sériového prvku do přenosové cesty přímo ovlivní celkovou impedanci přenosu a tedy i toky výkonů po vedení. [12]

Kompensace je realizována sériovými kondenzátory, které snižují celkovou reaktanci přenosové linky a tím i úbytek napětí na vedení. Tím se zmírňují poklesy napětí na vedení, zejména pro velká zatížení a pomáhají rozšiřovat oblast napěťové stability. Rovněž zlepšují dynamickou stabilitu a mění toky výkonů pomocí změn P-δ charakteristik. [12]



Obr. 1.16 Střídavá síť se sériovým kondenzátorem [8]

Z vektorového diagramu je vidět, že pro úbytek napětí platí vztah: [8]

$$\Delta \bar{U} = \bar{U}_1 - \bar{U}_2 = [R + j \cdot (X_L - X_C)] \cdot (I \cdot \cos \varphi - j \cdot I \cdot \sin \varphi) \quad (1.70)$$

a pro jeho reálnou složku vztah: [8]

$$\Delta U = R \cdot I \cdot \cos \varphi + X_L \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (1.71)$$

sériový kondenzátor zmenší reaktanci vedení, a tím i úbytek napětí na: [8]

$$\Delta U = R \cdot I \cdot \cos \varphi + (X_L - X_C) \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (1.72)$$

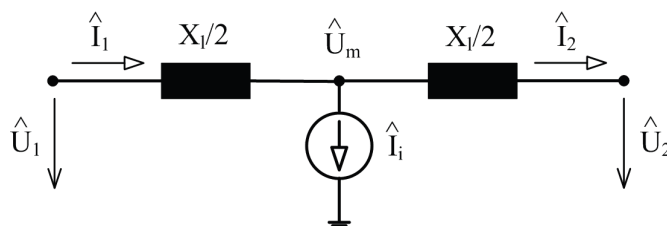
napětí za kondenzátorem bude: [8]

$$U_K = U_2 + X_C \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (1.73)$$

Kondenzátor v sérii tedy působí jako jakýsi samočinný regulátor napětí na spotřebiči. Z hlediska hospodárnosti však není tento způsob zlepšování napěťových poměrů u spotřebičů optimální a je ekonomicky zdůvodnitelný pouze pro velmi dlouhá vedení s vysokým poměrem X_L/R . [8]

1.2.4.3 Paralelní vstřikování proudu

Pomocí dodávky jalového proudu se zlepšuje udržování uzlových napětí v limitech při proměnlivém přenosu činného výkonu a zlepšuje tak výkonovou přenosovou schopnost systému. Kromě regulace napětí může sloužit také, v omezeném rozsahu, k řízení výkonových toků po vedení pomocí dodávky, nebo odběru jalového výkonu v místě svého připojení. [12]

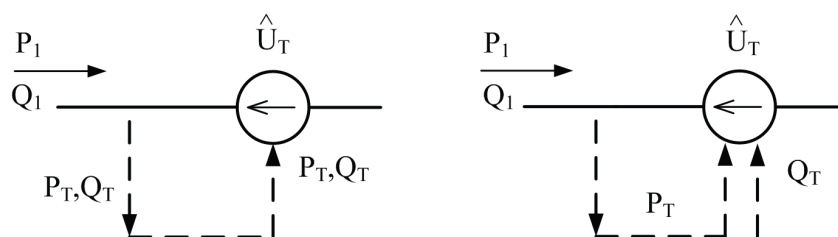


Obr. 1.17 Paralelní vstřikování proudu [12]

1.2.4.4 Sériové vstřikování napětí

Zvyšuje přenosovou kapacitu i provozní parametry soustavy. Přenášený činný výkon může být ovlivněn změnou amplitudy i fáze injektovaného sériového napětí. Jeli možné měnit fázi vstřikovaného napětí v celém rozsahu 0° až 360° , pak je možné činný výkon, tekoucí po přenosové lince regulovat v maximálním možném rozsahu. [12]

Existují dvě základní možnosti generování sériového napětí (viz. obr. 1.18). Činný i jalový výkon jsou buďto oba odebírány ze sítě, nebo je jalový výkon generován místně. [12]



Obr. 1.18 Možnosti sériového vstřikování [12]

Paralelní kompenzace je efektivní pro udržení požadovaného napěťového profilu na přenosových linkách a jako podpora napětí na konci radiálních linek při rostoucích požadavcích na odebraný výkon. Zvyšuje tak přenosovou schopnost vedení, v určitých případech až na tepelnou mez vedení. Je však méně účinná při řízení okamžitého toku činného výkonu, který je limitován zejména podélnou reaktancí linky a úhlem přenosu mezi koncovými napětími. Ke zvýšení činného výkonu je proto vhodná sériová kompenzace založená na kapacitní kompenzaci podélné reaktance, nebo sériové vstřikování napětí do přenosové linky. [12]

1.2.5 Řízení jalového výkonu

V elektrizačních soustavách je napětí v uzlech významně ovlivněno změnami zatížení a topologie soustavy. Při vysokém zatížení sítě může docházet k výrazným poklesům napětí, případně až k napěťovému kolapsu. To vede k aktivaci podpěťových ochran, masivnímu odpojování zátěží, a tím negativním dopadům na odběratele. Na druhé straně při velmi nízkém zatížení se na odlehčených linkách může objevit přepětí způsobené Ferrantiho jevem. Přepětí způsobuje poruchy zařízení poškozením izolace, či nežádoucí produkci vyšších harmonických, zapříčiněnou magnetickou saturací transformátorů. Proto je nutné udržovat napětí v soustavě blízko jmenovitých hodnot, aby byl zachován spolehlivý chod celého systému. [12]

K tomuto účelu jsou tradičně používány paralelní tlumivky, které odebírají jalový výkon a tak snižují napěťovou hladinu v místě svého připojení a paralelní kondenzátory dodávající jalový výkon a tak zvyšující hladinu napětí v místě svého připojení. [12]

Rozvoj výkonové elektroniky a řídicích mechanismů vedl k vývoji rychlých zařízení SVC se spínanými tlumivkami a kapacitami, které téměř nahradily synchronní kompenzátory. Nedávný vývoj v oblasti elektronické paralelní kompenzace umožnil realizaci zařízení STATCOM, které je založeno na principu trojfázového můstkového měniče (VSC) bez nutnosti instalace střídavých tlumivek a kondenzátorů a kombinuje provozní výhody synchronních kompenzátorů a SVC. [12]

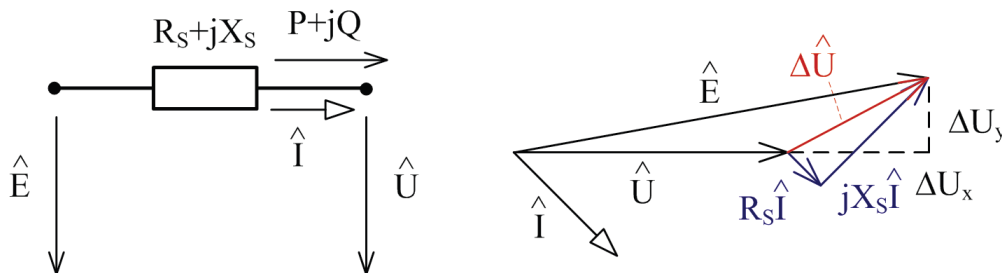
Současné řízení činného i jalového výkonu je možné pomocí komplexních FACTS zařízení jako jsou SSSC nebo UPFC, případně stejnosměrných přenosů HVDC. [12]

Je vhodné poznamenat, že v uzlových soustavách nelze zcela oddělit řízení činného a jalového výkonu a napětí. Každý systém v zásadě ovlivňuje všechny veličiny ve všech uzlech systému, jejich změna však závisí na topologii soustavy, instalaci dalších zdrojů a kompenzačních zařízení a fyzikálním principu vlastního zařízení. Výrazná změna cíleně regulované veličiny vede obvykle k menší, ale nevyhnutelné změně veličiny další. [12]

1.2.6 Vliv výkonových toků na napěťovou úroveň

Toky, odběry a dodávky činného i jalového výkonu mohou mít významný vliv na úroveň napětí v uzlech soustavy, které musí být podle technických standardů udržováno v předepsaném pásmu, aby byla zajištěna bezpečná a spolehlivá funkce konečných spotřebičů.

Bude-li v uzlu na konci radiální linky připojen odběr činného a jalového výkonu $P + jQ$, lze zbytek soustavy nahradit ekvivalentním zdrojem s vnitřním napětím \hat{E} a impedancí $\bar{Z}_s = R_s + jX_s$. V místě odběru je pak dosaženo uzlového napětí U . [12]



Obr. 1.19 Úbytek napětí v místě spotřeby [12]

Pro **úbytek napětí** platí vztah: [12]

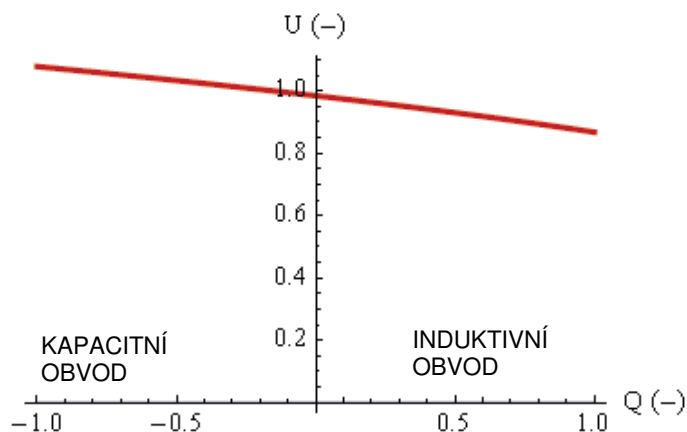
$$\Delta \bar{U} = \bar{Z}_s \cdot \bar{I} = (R_s + jX_s) \cdot \frac{P - jQ}{U} = \frac{R_s P + X_s Q + j(X_s P - R_s Q)}{U} \quad [\text{V}] \quad (1.74)$$

Známe-li impedanci soustavy \bar{Z}_s i odebíraný zdánlivý výkon $P + jQ$, lze fázory $\hat{E} = E_x + jE_y$ a $\hat{U} = U$ plně určit z následující soustavy rovnic: [12]

$$E_x + jE_y = U + \Delta U = U + \frac{R_s P + X_s Q + j(X_s P - R_s Q)}{U} \quad (1.75)$$

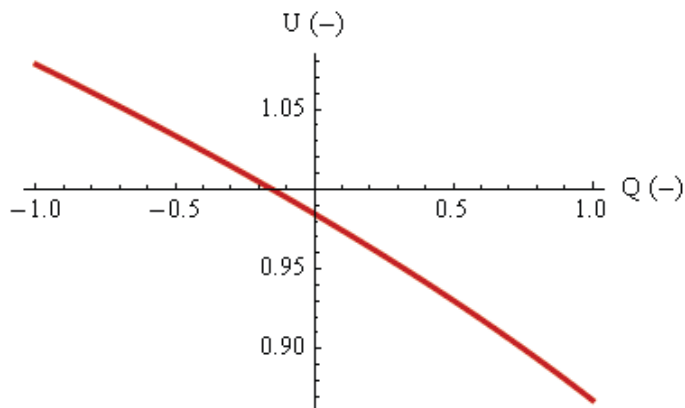
$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$$

Pro známou impedanci soustavy a konstantní odebíraný činný výkon lze stanovit závislost napětí v odběrném uzlu na odběru (dodávce) jalového výkonu, což je důležité pro určení vlivu regulátoru napětí, který obvykle pracuje právě se vstřikováním jalového výkonu. [1], [12]



Obr. 1.20 Systémová křivka napětí [1], [12]

Platí tedy, že induktivní odběr napětí snižuje a kapacitní odběr napětí zvyšuje. Jak je zřejmé z detailu systémové křivky (obr. 1.21), hodnoty napětí U , rovného vnitřnímu napětí ekvivalentního zdroje soustavy E (ideálně jmenovitého napětí), lze obecně dosáhnout při mírně kapacitním zatížení.



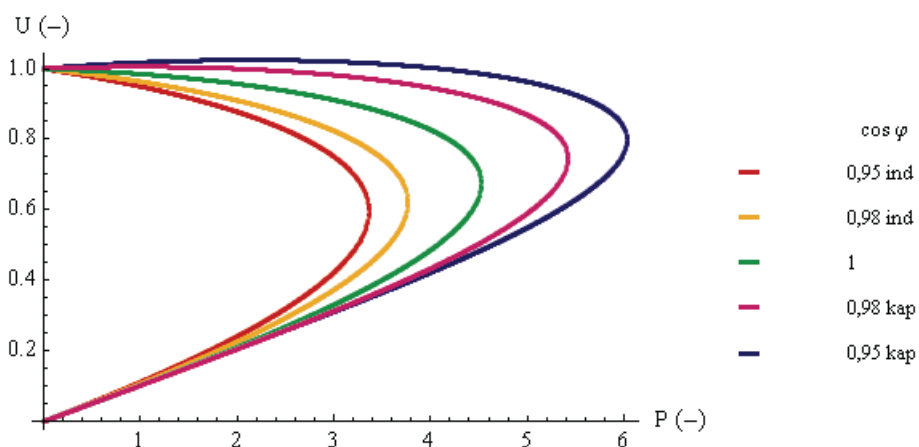
Obr. 1.21 Detail systémové křivky napětí [12]

Při určité hodnotě Q lze eliminovat úbytek napětí tak, že svorkové napětí U má stejnou hodnotu jako vnitřní napětí soustavy E . Pokud by regulátor zároveň sloužil ke kompenzaci jalového výkonu, pak při dosažení jednotkového účinníku $\cos \varphi = 1$ bude úbytek napětí: [12]

$$\Delta U = \frac{(R_s + jX_s) \cdot P}{U} \quad (1.76)$$

Tento úbytek je však nenulový a nezávislý na jalovém výkonu. Čistě reaktivní regulátor nemůže zároveň zajistit jednotkový účinník i udržení jmenovitého napětí v místě připojení. [12]

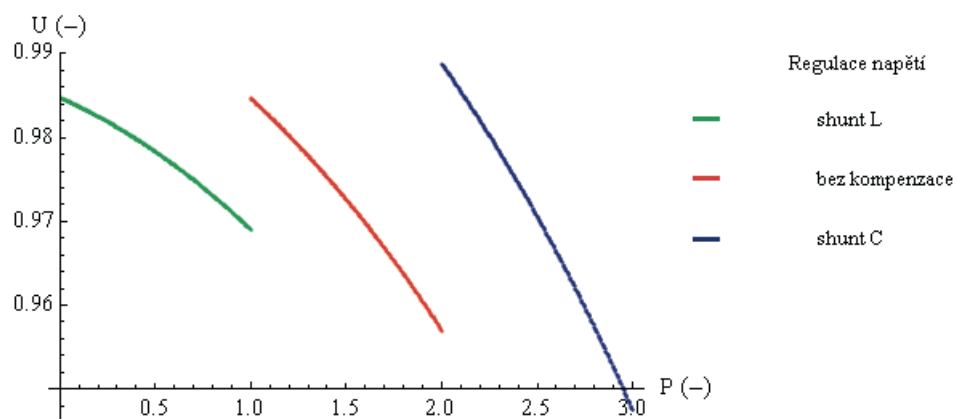
Obdobně jako pro jalový výkon můžeme analyzovat vliv velikosti odebíraného činného výkonu na napětí v uzlu. Závislost napětí U na odběru P je stanovena pro známou impedanci soustavy a konstantní účinník odběru, s činným výkonem se tak adekvátně mění i výkon jalový. Tyto P - U křivky jsou důležité pro stanovení maximálního možného zatížení v uzlech soustavy s ohledem na napěťovou stabilitu. [12]



Obr. 1.22 Závislost napětí na zatížení [12]

Je patrné, že pouze pro kapacitní zátěž je možné zvýšení napětí, a to pouze pro oblast nižšího zatížení, úměrně účinníku. Pro všechny účinníky však existuje oblast výkonů, pro něž začne napětí strměji klesat s rostoucím zatížením, až je dosaženo bodu zvratu. Bez ohledu na přípustnost napětí v bodu zvratu není možné dále zvyšovat zatížení. Vysoká záporná strmost dU/dP vede, při zvýšení odebíraného výkonu, k prudkému poklesu napětí, které se nazývá napěťový kolaps. Limit napěťové stability klesá s induktivní zátěží a roste více s kapacitní zátěží. [12]

Hrubou regulaci napětí v případě proměnlivého zatížení lze provádět jednorázovým připínáním paralelních reaktančních prvků v místě odběru. Při nízkém odebíraném výkonu, kdy napětí je vyšší, lze připojit paralelní indukčnost. Naopak pro vyšší odběry napětí klesá, a tak ho lze zvýšit připojením paralelní kapacity. [12]



Obr. 1.23 Kompenzace napětí příčnými prvky [1], [12]

Paralelním připojením reaktančních prvků je možné udržet napětí ve výrazně užším pásmu než v případě bez kompenzace. Rostoucí strmost křivky napětí pro vyšší odebírané výkony však zůstává, proto stále existuje omezení pro odběry, které brání nepřipustnému poklesu napětí. Spojitou změnou jalového výkonu dodávaného kompenzačním zařízením v místě odběru (např. SVC, STATCOM) je možné udržet napětí konstantní i pro proměnlivý odběr činného výkonu. [12]

2 Konfigurace lokální distribuční sítě povrchového uhelného lomu DNT

2.1 Rozvodná síť

2.1.1 Napět'ové soustavy používané na DNT pro technologická zařízení

V povrchových dolech se používá celá řada napět'ových soustav. Mezi nejvýznamnější patří: [11]

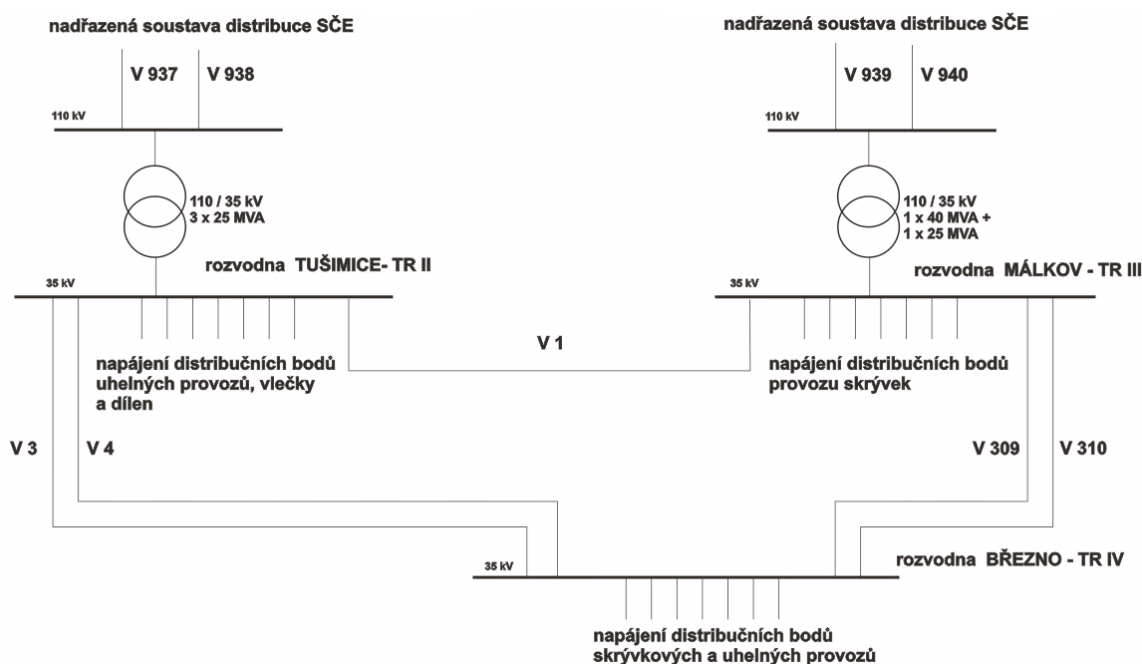
- 3PE AC-50 Hz 110 kV TT	... <i>napájení dolu</i>
- 3PE AC-50 Hz 35 kV IT	... <i>venkovní linky páteřního napájení dolu</i> (okružní linky, napájení technologických celků)
	... <i>napájení TSN a DT</i>
	... <i>kabelové rozvody k rypadlům</i>
- 3PE AC-50 Hz 6 kV IT	... <i>kabelové rozvody napájení dopravních linek, menších rypadel, napájení zakladačů a pomocných technologických zařízení</i>
- 3N/PE AC-50 Hz 690/400 V TN-C	... <i>napájení energetických obvodů 690/400V</i>
- 3PE AC-50 Hz 500 V IT	... <i>napájení energetických obvodů 500V</i>
- 3N/PE AC-50 Hz 400/230 V TN-C-S	... <i>napájení energetických a ovládacích obvodů 400/230V</i>
- 1PE DC 3000(1500) V	... <i>napájení kolejové dopravy</i>

2.1.2 Napojení DNT na veřejnou distribuční síť

Severočeské doly - lokalita DNT, je v současné době napájena čtyřmi nezávislými venkovními linkami 110 kV (V937 - V940) z rozvodny SČE „Verněřov“ a to prostřednictvím transformátorové stanice TR2 v Tušimicích (linka V937 a V938) a transformátorové stanice TR3 v Málkově (linka V939 a V940). V transformátorových stanicích TR2 a TR3 je napětí 110 kV TT transformováno na napětí 35 kV IT. Z dvojice linek natažených do každého z napájecích bodů slouží vždy jedna jako záloková. [13]

2.1.3 Páteřní rozvodná síť

Napájení dolu je doplněno venkovní rozvodnou TR4, umístěnou v Březně u Chomutova. Tato rozvodna je propojena dvěma venkovními linkami 35 kV IT s rozvodnou TR2 (linka V3 a V4) a dvěma venkovními linkami 35kV s rozvodnou TR3 (linka V309 a V310). Rozvodny TR2 a TR3 jsou propojeny jednou venkovní linkou (linka V1 - V301). Tyto linky tvoří páteřní napájecí soustavu dolu. Jsou umístěny na okraji těžebního prostoru (většinou vně tohoto prostoru). Venkovní linky jsou zhotoveny jako stabilní (umístění na příhradových stožárech). [13]



Obr. 2.1 Schéma páteřní rozvodné sítě DNT

2.1.4 Distribuce elektrické energie do těžebního prostoru lomu

Z rozvodny TR2, TR3 a TR4 je rozvod elektrické energie do těžebního prostoru dolu dále proveden venkovními linkami 35kV. Těžební prostor se rozkládá na ploše cca 70 km². V tomto prostoru jsou na vhodných místech rozmístěny distribuční transformátorové stanice napětí (dále jen TSN, případně DT) a to podle aktuálních potřeb postupu těžby a zakládání výsypek. [13] V lokalitě DNT je, pro pokrytí potřeb napájení těžební technologie, rozmístěno 25 ks TSN a DT stanic (stav ke konci roku 2013).

Elektrická energie však není distribuována pouze na technologická zařízení povrchového lomu. Na distribuční síť jsou připojeni další externí odběratelé. Mezi nejvýznamnější patří skládka komunálního odpadu, sportovní motokrosový areál, firma Weber, Ekometal, atd. [13]

Na lokální distribuční síť je také připojena kogenerační jednotka bioplynové stanice Ahníkov s výkonem 0,8 MW.

Venkovní linky 35 kV jsou umístěné na příhradových stožárech případně na přesuvných stožárech (v místech předpokládaného pohybu podloží např. výsypek). Délka venkovních vedení obvykle dosahuje několika desítek kilometrů (na DNT dosahuje délka venkovních vedení cca 140 km). [13]

2.1.5 Distribuce elektrické energie k jednotlivým zařízením technologie

Na TSN je napětí transformováno z 35 kV IT na 6 kV IT a dále je rozvedeno kabelovými rozvody k jednotlivým zařízením těžební technologie. V případě, že součástí technologie je rypadlo výkonnostní třídy TC2, jsou některé distribuční body (TSN) doplněny o spínací kiosek vypínače 35kV

(tzv. VSS kiosky). Od VSS kiosku je napájecí trasa pro rypadlo vedena přesuvným kabelovým vedením 35 kV. Tyto kabely jsou rozbalovány z kabelových zásobníků a pojízdných kabelových vozů volně na zem. Na kabelovém voze, nebo zásobníku je obvykle namotáno od 1200 do 1600 m kabelu. Kabelové vozy i kabelové zásobníky lze libovolně vřazovat a vyřazovat z napájecí trasy rypadla podle aktuálních potřeb těžby. Délka napájecí kabelové trasy pro rypadlo dosahuje délky až 6 km. [13]

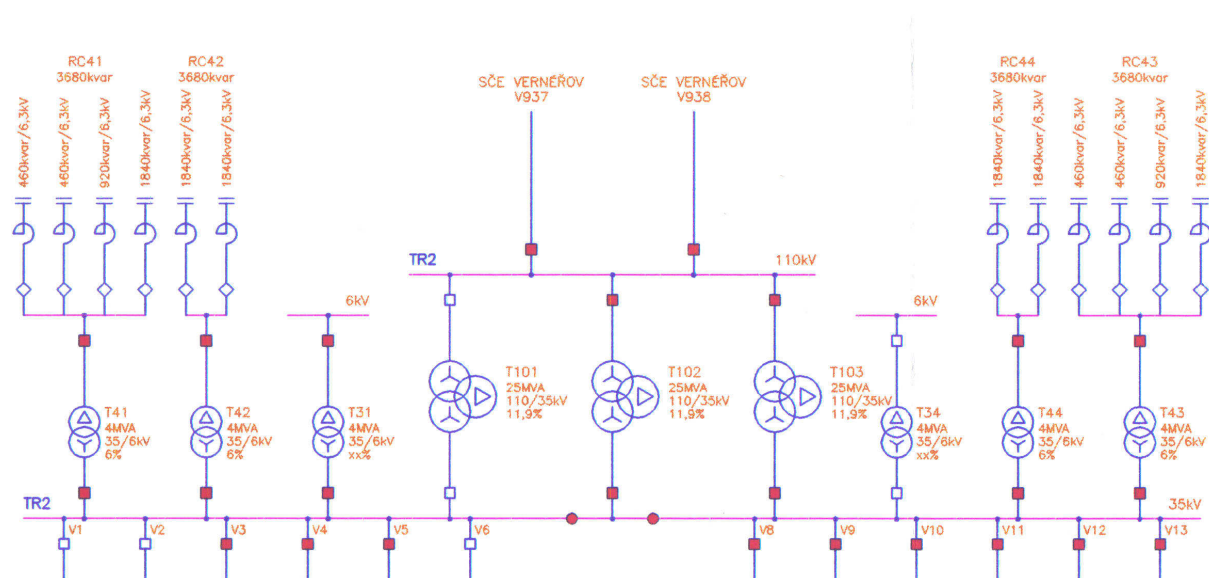
V posledních letech jsou starší typy TSN nahrazovány takzvanými DT stanicemi, ve kterých jsou soustředěny jak rozvody 6 kV tak i 35 kV, včetně vývodového vypínače 35 kV pro rypadlo. [13]

Kabelové rozvody se ve většině případů umísťují na dopravní linky dálkové pásové dopravy. Kabelové rozvody k těžebním strojům jsou většinou položeny volně na pláni a jsou navíjeny – odvíjeny na kabelové vozy, příp. kabelové zásobníky. Délka kabelových vedení obvykle dosahuje několika desítek až stovek kilometrů (na DNT dosahuje délka napájecích kabelových vedení VN cca 250 km). [13]

2.2 Hlavní transformovny a hlavní spínací stanice

2.2.1 Transformovna TR2

Napětí z linek 110 kV TT (V937, V938) je transformováno, prostřednictvím dvou třívintuřových transformátorů (T101, T102) v paralelním zapojení, každý o výkonu 25 MVA (zapojení Yyd), na napětí 35 kV IT. Paralelně k těmto transformátorům je připojen třetí záložní transformátor (T103) stejných parametrů. Vývody těchto transformátorů jsou připojeny přes vypínače na přípojnice. [13]



Obr. 2.2 Schéma zapojení TR2 [4], [13]

Napětí 3x35 kV IT je dále distribuováno prostřednictvím třinácti venkovních linek na jednotlivé distribuční transformátorové stanice do prostoru těžební lokality DNT: [13]

V1 –propojení TR2 a TR3, napájení hradel vlečky Tušimice – Pruněřov
 V2 – napájení přednádraží vlečky Tušimice – Březno u Chomutova, TSN 60, 63 a VSS9
 V3 – propojení TR2 a TR4, skládka odpadů
 V4 - propojení TR2 a TR4
 V5,V6 – napájení usměrňovací stanice pro železniční vlečky (3,3 kV DC)
 V8,V9 – napájení lomu DT58,73, TSN72,47 a napájení ústřední drtírny uhlí V9 - TR35
 V10 – napájení ústřední drtírny uhlí TR35
 V11, V12 – napájení lomu – DT50
 V12, V13 – napájení lomu – DT44 a napájení homogenizační skládky DT35

Pro potřeby napájení vlastní spotřeby rozvodny jsou na přípojnících 35 kV připojeny dva transformátory (T31,T34) 35/6 kV, v zapojení Yd o výkonu 4 MVA,.

Transformovna je vyhotovena ve venkovním provedení.

2.2.1.1 Centrální kompenzace TR2

Na přípojnících 35 kV je připojena centrální kompenzace účinníku a to prostřednictvím čtyř transformátorů 35/6 kV, v zapojení Yd, o výkonu 4 MVA a $u_k = 11,9 \%$. [13]

Centrální kompenzace je provedena jako chráněná na napěťové hladině 6 kV. Protože systém přípojníc TR2 je tvořen dvojicí přípojníc samostatně napájených hlavním transformátorem, je kompenzační výkon rozdělen takto: [13]

system přípojníc 1 - T41	0,46 + 0,46 + 0,92 + 1,84	= 3,68 Mvar
- T42	1,84 + 1,84	= 3,68 Mvar
system přípojníc 2 - T43	0,46 + 0,46 + 0,92 + 1,84	= 3,68 Mvar
- T44	1,84 + 1,84	= 3,68 Mvar

Celkový kompenzační výkon je **14,72 Mvar**.

Filtračně kompenzační zařízení jsou umístěna v rozvaděčích RC1a RC2, rozdělených vždy na dvě sekce RC 11 napojené na transformátor T41, RC12 napojené na transformátor T42 a RC 21 napojené na transformátor T43, RC22 napojené na transformátor T44. Přívod do rozvaděče je veden přes odpojovač, přívodní vypínač a je napojen na přípojnice vedené přes všechny rozvaděče skupiny. Přípojnice jsou chráněny svodiči přepětí. [2], [13]

Kompenzační zařízení je tvořeno sadou paralelních kompenzačních filtrů, které jsou spínány vakuovými stykači. Kompenzační rozvaděč sestává z osmi spínaných stupňů s výkonovou vahou 1:1:2:4:8:8:8. [2], [13]

Jednotlivé stupně jsou sestaveny ze:

- silových pojistek příslušné proudové hodnoty
- vakuového stykače
- třífázový RC člen s varistory (omezení spínacích přepětí)
- třífázové filtrační tlumivky
- trojice jednofázových kondenzátorů spojených do trojúhelníka

Stupně největšího výkonu mají zdvojené tlumivky a skupiny kondenzátorů. Kondenzátory jsou vybaveny pojistkami svitků, vybíjecími odpory a tlakovým pojistným systémem. [2], [13]

Kompenzační zařízení je konstruováno tak, aby za běžného provozního stavu sítě kompenzovalo celkový účinník odběru, stanovený ze čtvrt hodinových odečtů elektroměrů, na hodnotu $\cos \varphi = 0,95 - 1$ induktivních. Kompenzační výkon zařízení je regulován podle účinníku součtu výkonů přírodních linek 110 kV, takže lze použít kteroukoli kombinaci přírodních transformátorů T101, T102, nebo T103.

Indukčnost filtrační tlumivky spolu s kapacitou kondenzátorů každého stupně tvoří sériový filtrační obvod, jehož rezonanční kmitočet je laděn na frekvenci 5. harmonické. Částečně jsou filtrovány i vyšší harmonické nad 5. harmonickou. [2], [13]

Spínání a odspínání jednotlivých silových stupňů je prováděno na základě povelů regulátoru. Použit je mikroprocesorový regulátor jalového výkonu speciálně modifikovaný pro vysokonapěťové kompenzace. Zpoždění manipulace je závislé na akutnosti požadavku a je při něm respektována potřebná vybíjecí doba kondenzátoru před znovuzapnutím příslušného stupně. Regulátor preferuje spínání do kruhu, tj. při spínání stupňů stejné váhy zapíná stupeň nejdříve vypnutý a vypíná stupeň nejdříve zapnutý. [2], [13]

Poruchové stavy a ovládání jsou přenášeny na velín, odkud je možné funkci centrální kompenzace kontrolovat a ovládat. [13]

2.2.1.2 Kompenzace nesymetrie TR2

Na přípojnicích 35 kV jsou dále připojen transformátor (T31) 35/0,4 kV, v zapojení Yyn0 výkonu 0,1 MVA sloužící ke kompenzaci fázové nesymetrie sítě 35 kV [3], [13].

Zařízení kompenzace napěťové nesymetrie kompenzuje napěťovou nesymetrii zapříčiněnou nesymetrickým umístěním vodičů venkovních vedení distribuční sítě povrchového lomu.

Zařízení kompenzace napěťové nesymetrie je složeno z šesti kompenzačních stupňů v každé fázi.

2.2.2 Transformovna TR3

Napětí z linek 110 kV TT (V939, V940) je transformováno, prostřednictvím třívintového transformátoru (T101) o výkonu 40 MVA (zapojení Yyd), na napětí 35 kV IT. Paralelně k tomuto transformátoru je připojen druhý záložní transformátor (T102) o výkonu 25 MVA (zapojení Yyd). Vývody těchto transformátorů jsou připojeny přes vypínače na přípojnice. [13]

Napětí 3x35 kV IT je dále distribuováno prostřednictvím deseti venkovních linek na jednotlivé distribuční trafostanice do prostoru těžební lokality DNT: [13]

V301 – propojení TR2 a TR3, napájení hradel vlečky Tušimice – Prunéřov, externí odběratelé

V302 – napájení 2 skrývkového řezu TSN62, napájení čerpání důlních vod TSN61

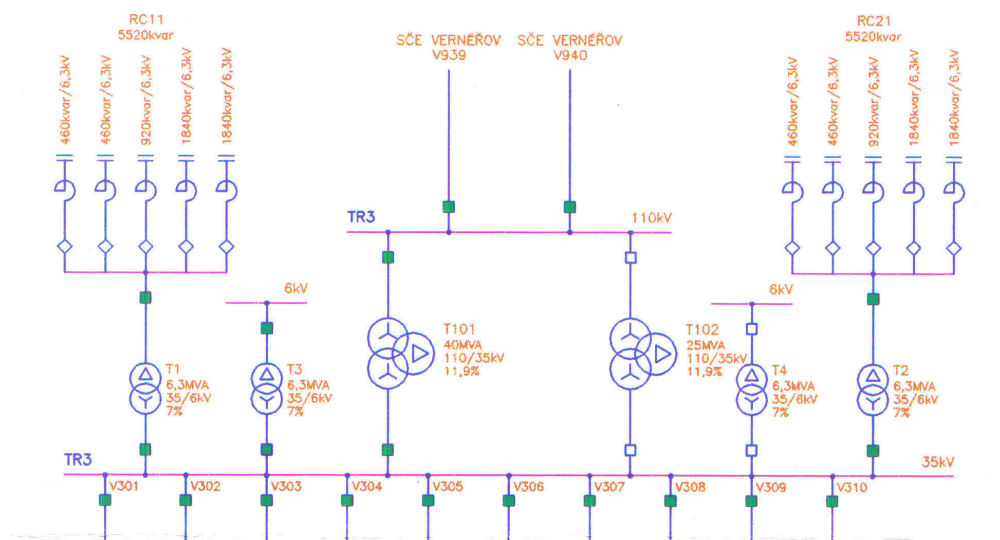
V303 - V306 – rezerva

V307 – napájení 3 skrývkového řezu DT55, DT64, napájení čerpání důlních vod, zemník Krbice

V308 – napájení 2 skrývkového řezu DT51, DT52

V309, V310 – spojovací vedení na TR4, napájení 1. skrývkového řezu - TSN53 a VSS10

Transformovna je vyhotovena ve venkovním provedení.



Obr. 2.3 Schéma zapojení TR 3 [4], [13]

2.2.2.1 Centrální kompenzace TR3

Na přípojnicích 35 kV je připojena centrální kompenzace účinníku a to prostřednictvím dvou transformátorů 35/6,3 kV, v zapojení Yy0, o výkonu 6,3 MVA a $u_k = 7\%$. [13]

Centrální kompenzace je provedena jako chráněná, na napětíové hladině 6 kV. Kompenzační výkon je rozdělen takto: [13]

$$\begin{aligned} - T1 & 0,46 + 0,46 + 0,92 + 1,84 + 1,84 & = 5,52 \text{ Mvar} \\ - T2 & 1,84 + 1,84 + 1,84 & = 5,52 \text{ Mvar} \end{aligned}$$

Celkový kompenzační výkon je **11,04 Mvar**.

Filtračně kompenzační zařízení je umístěno v rozvaděči RC 3, rozděleném na dvě sekce, RC 31 napojené na transformátor T1 a RC 32 napojené na transformátor T2. Přívod do rozvaděče je veden přes odpojovač, přívodní vypínač a je napojen na přípojnice vedené přes všechny rozvaděče skupiny. Přípojnice jsou chráněny svodiči přepětí. [2], [13]

Kompenzační zařízení je tvořeno sadou paralelních kompenzačních filtrů, které jsou spínány vakuovými stykači. Kompenzační rozvaděč se sestává z osmi spínaných stupňů s výkonovou vahou 1:1:2:4:8:8:8:8.

Jednotlivé stupně jsou sestaveny ze: [2], [13]

- silových pojistek příslušné proudové hodnoty
- vakuového stykače
- třífázový RC člen s varistory (omezení spínacích přepětí)
- třífázové filtrační tlumivky
- trojice jednofázových kondenzátorů spojených do trojúhelníka

Stupně největšího výkonu mají zdvojené tlumivky a skupiny kondenzátorů. Kondenzátory jsou vybaveny pojistkami svitků, vybíjecími odpory a tlakovým pojistným systémem. [2], [13]

Kompenzační zařízení je konstruováno tak, aby za běžného provozního stavu sítě kompenzovalo celkový účinník odběru, stanovený ze čtvrt hodinových odečtů elektroměrů, na hodnotu $\cos \varphi = 0,95 - 1$ induktivních. Kompenzační výkon zařízení je regulován podle účinníku součtu výkonů přívodních linek 110 kV. [2], [13]

Indukčnost filtrační tlumivky spolu s kapacitou kondenzátorů každého stupně tvoří sériový filtrační obvod, jehož rezonanční kmitočet je laděn na frekvenci 5. harmonické. Částečně jsou filtrovány i vyšší harmonické nad 5. harmonickou. [2], [13]

Spínání a odspínání jednotlivých silových stupňů je prováděno na základě povelů regulátoru. Použit je mikroprocesorový regulátor jalového výkonu speciálně modifikovaný pro vysokonapěťové kompenzace. Zpoždění manipulace je závislé na akutnosti požadavku a je při něm respektována potřebná vybíjecí doba kondenzátoru před znovuzapnutím příslušného stupně. Regulátor preferuje spínání do kruhu, tj. při spínání stupňů stejné váhy zapíná stupeň nejdéle vypnutý a vypíná stupeň nejdéle zapnutý. [2], [13]

Poruchové stavy a ovládání jsou přenášeny na velín odkud je možné funkci centrální kompenzace kontrolovat a ovládat. [13]

2.2.3 Rozvodna TR4

Rozvodna TR4 může být napájena z TR2 prostřednictvím linek V3, V4, nebo z TR3 prostřednictvím linek V309, V310. [13]

Napětí 3x35 kV IT je dále distribuováno prostřednictvím třinácti venkovních linek na jednotlivé distribuční trafostanice do prostoru těžební lokality DNT. [13]

V401 – Čistírna důlních vod (ČDV), areál Březno (šatny, koupelny, dílny)

V402, V403 – rezerva

V404 – napájení 2 skrývkového řezu DT55, TSN59

V405, V406 – rezerva

V407 – napájení montážního místa TSN57

V408 – napájení lomu – DT67, DT71, napájení čerpání důlních vod

V409 – napájení 1 skrývkového řezu DT65

V410 – V412 – rezerva

V413 – napájení 1 skrývkového řezu DT74, TSN66, TSN 69

Rozvodna je vyhotovena ve venkovním provedení.

2.3 Distribuční trafostanice a spínací stanice

Na povrchovém lomu DNT se nachází 25 ks přesuvných distribučních stanic, 6 ks stálých distribučních stanic a 8 ks stožárových transformátorů (příloha A1). Některé z nich jsou vybaveny kompenzačním kioskem. [13]

Přesuvné distribuční stanice jsou vybaveny transformátorem vlastní spotřeby s napětovým převodem 35 / 0,23 kV v zapojení Yz1 o výkonu 100 kVA. Zapojení přesuvné distribuční stanice je umístěno v příloze B1. [13]

Distribuční transformátor 6,3 MVA je, na vstupní straně rozvodny 6 kV (sekundární strana transformátoru), obvykle kompenzován trvale připojenou kompenzační baterií o výkonu 50-300 kvar.



Obr. 2.4 Přesuvná distribuční trafostanice TSN 66, 69 [13]

2.3.1 Kompenzace distribučních bodů

Část distribučních bodů je vybavena skupinovou kompenzací řízenou regulátorem jalového výkonu. Přesuvné distribuční stanice jsou doplněny přesuvným kompenzačním kioskem o výkonu 1200 kvar, příp. 1400 kvar. Stálé distribuční stanice jsou vybaveny kompenzačními rozvaděči. [13]

Skupinová kompenzace distribučních bodů slouží k vyrovnání spotřeby kapacitního jalového výkonu při chodu dopravní linky naprázdno, případně při nízkém zatížení pohonů dopravní linky.

2.3.1.1 Přesuvný kompenzační kiosek

Je připojen kabelem na jeden z vývodů spínací stanice přesuvné distribuční stanice, na napětové hladině 6 kV. Kompenzační kiosek je rozdělen na čtyři samostatná pole, oddělená přepážkou. V přívodním poli jsou umístěny přístrojové měniče proudu, napětí a také svodiče přepětí.

Ve zbývajících třech polích je výzbroj jednotlivých kompenzačních stupňů, sestávající z pojistek, vakuového stykače, ochranné tlumivky a kondenzátoru příslušné velikosti (příloha A2). Poměr jednotlivých stupňů je 1:2:3 (200, 400 a 600 kvar), nebo 1:2:4 (200, 400 a 800 kvar). [13]

Napětí a proud potřebné pro vyhodnocení posunu, se snímají na přívodu přesuvné distribuční stanice (35 kV), pomocí přístrojových transformátorů. Kompenzuje-li kompenzační kiosek dvě přesuvné distribuční stanice současně (jedna společná napájecí linka), nebo přesuvnou distribuční stanici společně se spínacím kioskem napájení velkstroje, jsou proudy obou zařízení sčítány prostřednictvím speciálního součtového transformátoru, v poměru příslušejícím převodovým poměrům jednotlivých proudových transformátorů. [13]

Řízení spínání a odpínání jednotlivých kompenzačních stupňů je ovládáno pomocí regulátoru jalového výkonu. [13]

Kompenzační kiosek je vybaven kontrolou pojistek, kontrolou tlaku v kondenzátorech, kontrolou otevření dveří, kontrolou stavu vypínače přívodu do kompenzačního kiosku, atd. Poruchy kompenzačního kiosku jsou signalizovány na signalizačním panelu. [13]

2.3.1.2 Kompenzační rozvaděč na TR 35

Tento kompenzační rozvaděč má kompenzovat zařízení, jako jsou drtiče uhlí, pásové dopravníky v jejich bezprostředním okolí a zařízení velkokapacitní skládky uhlí, napájené z rozvodny TR 35.

Na stálé distribuční stanici TR 35 je skupinová kompenzace umístěna ve dvou rozvaděčích s kompenzačním výkonem 2 x 1400 kvar (příloha A3). Na distribuční stanici TR 35 se nachází dvě samostatně napájené skupiny elektrických zařízení. Každá z nich je napájena z distribučního transformátoru o výkonu 6,3 MVA. Vývod každého z těchto transformátorů je kompenzován samostatnou kompenzační skupinou. Kompenzace je řízena regulátory jalového výkonu od firmy Janitza. Proud, potřebné pro řízení regulace, jsou snímány na sekundární straně distribučních transformátorů. [10], [13]

Kompenzace je provedena na napěťové hladině 6 kV. V kompenzátorovně jsou dvě samostatné skupiny kompenzačních rozvaděčů ve stejném provedení. V přívodním poli jsou umístěny přístrojové měniče proudu a napětí a také svodiče přepětí. Ve zbývajících třech polích je výzbroj jednotlivých kompenzačních stupňů sestávající z pojistek, vakuového stykače, ochranné tlumivky a kondenzátorů příslušné velikosti (viz příloha A3). Poměr jednotlivých stupňů je 1:2:4 (200, 400 a 800 kvar). [10], [13]

Kompenzační rozvaděče jsou vybaveny kontrolou pojistek, kontrolou tlaku v kondenzátorech, kontrolou otevření dveří, kontrolou stavu vypínače přívodu do kompenzačního rozvaděče, atd. [10], [13]

2.3.1.3 Kompenzační rozvaděč na ÚDUT I a ÚDUT II

Rozvodny ÚDUT I a ÚDUT II jsou určené pro napájení pásových dopravníků, zásobníků uhlí a zařízení pro nakládku uhlí. Tyto pásové dopravníky jsou většinou krátké, takže výkon motorů je většinou menší – kolem 30 kW. Rozvodny ÚDUT I a ÚDUT II jsou proto vybaveny skupinovou kompenzací řízenou regulátorem jalového výkonu. Každá z těchto rozvodů je vybavena dvěma kompenzačními rozvaděči připojenými na koncích přípojníc, které prochází rozvaděči napájení vždy jedné dopravní linky. [13]

Kompenzace je dvanáctistupňová s poměrem spínaných stupňů 1:1:1:2:2:2:4:4:4:8:8:8 s celkovým instalovaným výkonem 225 kvar. Kompenzační kondenzátory jsou chráněny pojistkami a jsou jim předřazeny tlumivky. Regulátor řídí spínání jednotlivých stupňů kompenzace na základě signálů napětí a proudu snímaných v přívodním poli příslušné skupiny rozvaděčů. [13]

Kompenzační výkon rozvodů ÚDUT I a ÚDUT II je celkem 4 x 225 kvar (příloha A4).

2.4 Napájení velkstrojů

Podle instalovaného výkonu velkstroje jsou napájeny na napětíové hladině 6 kV, případně 35 kV. Velkstroje se napájí vždy samostatně z vývodu přesuvné distribuční stanice. Napájení je provedeno prostřednictvím vlečných kabelů, navinutých na kabelových vosech. Délka napájecího kabelu dosahuje až 6 km (příloha A5). [13]

Každý velkstroj je vybaven vlastním distribučním systémem. Po přivedení napětí na velkstroj je napájecí napětí transformováno podle potřeby na nižší napětíovou hladinu (většinou 6 kV) a následně je rozvedeno do jednotlivých rozveden rozmístěných na stroji. Zde je distribuováno k jednotlivým elektrickým zařízením na této napětíové hladině, případně znovu transformováno na požadovanou napětíovou hladinu a opět distribuováno k jednotlivým zařízením. [13]



Obr. 2.5 Kabelový vůz 35 kV s kabelem délky 1200m [13]

Z velkstrojů jsou často napájená pomocná zařízení, jako S vůz ze zakladače, nebo pojízdný drtič z rypadla.

2.5 Napájení dopravních linek

Je provedeno výhradně kabelovými rozvody. Centrální drtírna uhlí, skládka uhlí, nakládka uhlí na vagóny a zauhlení elektrárny jsou napájeny ze stálých (zděných) distribučních stanic (příloha A8), protože jejich pozice se nemění. Zbývající část těžební technologie těžby a přepravy skřívky (příloha A6) a těžby a přepravy uhlí (příloha A7) je napájena z přesuvných transformačních stanic rozmístěných vhodně v dobývacích prostorech.

Pásové dopravníky jsou napájeny na napětové hladině 6 kV. Motory hlavních pohonů dopravní linky jsou napájeny na napětové hladině 6 kV, 690 V nebo 400 V, podle použitého výkonu. Podle toho jsou poháněcí stanice osazeny příslušnými silovými transformátory. [13]

Na poháněcích stanicích dopravní linky je instalována individuální kompenzace u motorů hlavních pohonů a u silových transformátorů. Velikost kompenzačních baterií je však dosti rozdílná.

2.6 Napájení pomocných zařízení přepravy

Mezi pomocná zařízení lze zařadit drtiče, PVZ, PVP, shazovací vozy, kabelové vozy, atd. Pomocná zařízení jako jsou S vozy nebo pojízdné drtiče jsou napájeny z velkostrojů, se kterými tato zařízení obvykle spolupracují (příloha A9). [13]

Zařízení jako pojízdný vůz zakládací (PVZ), nebo pojízdný vůz překládací (PVP) jsou obvykle napájeny samostatně na napětové hladině 6 kV. [13]

2.7 Napájení čerpacích stanic

Z lokality DNT se čerpá ročně mezi 2,5 – 4 mil. m³ vody (což je asi 1/3 ročního přítoku), ta se následně čistí a vypouští zpět do povodí Ohře. Povodí všech 14 čerpacích stanic na DNT má rozlohu 65 km². Převýšení hlavní čerpací stanice je okolo 200 m. [13]

Na DNT byl vytvořen systém sestávající z typizovaných jednotek, pomocí kterých je řešena celá problematika odvodnění. Čerpací jednotku tvoří sestava jednoho až dvou, v sérii zapojených čerpadel Warman, s motory o výkonu 200 kW (4pól.) (příloha A10), plnicím čerpadlem s výkonem 90 kW, které vytváří tlak na vstupu hlavního čerpadla a ponorným čerpadlem, které slouží k zavodnění sacího potrubí. Podle potřeby (při větším převýšení) jsou do výtlačného potrubí vřazeny další čerpací jednotky o stejném výkonu. [13]

Motor hlavního čerpadla je napájen na napětové hladině 3 x 6 kV IT, motor plnicího čerpadla a ponorného čerpadla na napětové hladině 3 x 500 V IT. K napájení této sestavy slouží, pro tento účel navržená, přesuvná rozvodna, vybavená ovládacími obvody a transformátorem o výkonu 400 kVA. Motor hlavního čerpadla je kompenzován pomocí hrazené kondenzátorové baterie 100 kvar, připojené mezi stykačem a proudovými měniči ochrany motoru. [13]

Transformátor je kompenzován kompenzační baterií 5 kvar. [13]

2.8 Kabelové rozvody

K distribuci elektrické energie se na DNT používají kabely napěťové hladiny 6 kV a 35 kV. Na napěťové hladině 6 kV IT se k napájení používají kabely průřezů 95 mm² a 120 mm². Na napěťové hladině 35 kV IT se k napájení používají kabely průřezů 50 mm² a 70 mm². [13]

Typickým příkladem kabelů, používaných na DNT, jsou kabely od firmy Draka s těmito vlastnostmi:

Kabel 6-CHCU [18]



Obr. 2.6 Kabel 6 CHCU [18]

- Konstrukce:
1. Měděné jádro, jemně lanované, pocínované, tř. 5
 2. Polovodivá páska
 3. Vložka
 4. Pryžová izolace
 5. Polovodivá vrstva
 6. Polovodivá páska
 7. Vnitřní plášť polovodivý
 8. Vnější chloroprenový plášť

Jmenovité napětí	$U_0/U = 3,6/6$ kV
Zkušební napětí	15 kV
Max. teplota při zkratu	250°C
Provozní teplota jádra	90°C
Minimální teplota manipulace	-30°C

Tab. 2.1 Parametry kabelů 6-CHCU [18]

počet žil x průřez [mm ²]	vnější průměr [mm]	hmotnost [kg/km]	poloměr ohybu [mm]	odpor vodičů [Ω/km]	kapacita [μF/km]	indukčnost [mH/km]	ekvivalentní zkratový proud 1s [kA]	časová oteplovací konstanta [s]	zatížitelnost na vzduchu [A]
3x95+3x16	60-65	5950	380	0,21	0,47	0,277	11,59	599	370
3x120+3x16	63-68	7120	410	0,164	0,49	0,272	14,64	783	409

Kabel 35-CHVU [19]



Obr. 2.7 Kabel 35 CHVU [19]

- Konstrukce:
1. Měděné jádro, jemně lanované, pocínované, tř. 5
 2. Polovodivá vrstva
 3. Pryžová izolace
 4. Polovodivá vrstva
 5. Polovodivá textilní páska
 6. Vnitřní plášť polovodivý
 7. Měděný koncentrický vodič (25mm²)
 8. Textilní páska
 9. Vnější chloroprenový plášť

Jmenovité napětí	$U_0/U = 20/35$ kV
Zkušební napětí	53 kV
Max. teplota při zkratu	250°C
Provozní teplota jádra	90°C
Minimální teplota manipulace	-30°C

Tab. 2.2 Parametry kabelů 35-CHVU [19]

počet žil x průřez [mm ²]	vnější průměr [mm]	hmotnost [kg/km]	poloměr ohybu [mm]	odpor vodičů [Ω/km]	kapacita [μF/km]	indukčnost [mH/km]	ekvivalentní zkratový proud 1s [kA]	časová oteplovací konstanta [s]	zátížitelnost na vzduchu [A]
3x50+3x16+25	92	9920	800	0,393	0,18	0,42	6,4	331	215
3x70+3x16+25	99	12022	800	0,277	0,207	0,387	10,0	701	252

3 Měření zpětné dodávky jalové energie

Vzhledem k tomu, že určit množství kapacitní jalové energie, v takto rozsáhlé rozvodné síti, výpočtem s dostatečnou přesností není jednoduché, byla provedena série měření, ze kterých je možné odečíst hodnoty jalového výkonu jednotlivých částí distribučních rozvodů (vedení).

Pro podrobnější měření byly vytipovány ty části lokální distribuční sítě, kde je nejpravděpodobnější předpoklad kapacitního charakteru vedení. Tomuto předpokladu odpovídají kabelová vedení 35 kV, která se používají k napájení rypadel na provozu skrývek.

Provoz skrývek DNT se sestává ze tří samostatných technologických celků. Na každém z nich se nachází velkokapacitní rypadlo dopravní linka a zakladač. Měření zpětné dodávky jalové energie bylo provedeno v napájecích bodech na každém z těchto technologických celků.

Princip měření spočívá v postupném odpojování jednotlivých částí distribuční sítě a určení velikosti a charakteru jalového výkonu odpojené části vedení (kabelového, venkovního), případně transformátorů přesuvných distribučních bodů.

Abychom získali přehled o celkovém množství kapacitní jalové energie, které je schopna lokální distribuční síť DNT dodávat v případě odstavení technologie do nadřazené napájecí sítě, byla provedena doplňující měření v napájecích bodech povrchového dolu v době kompletní odstávky technologie.

K měření byl použit analyzátor sítí **G 4500** a jeho příslušenství. Jako proudové měniče byly použity proudové kleště MN 71 s rozsahem do 5 A. Měřené hodnoty byly snímány z proudových a napěťových měničů používaných k měření odběrů spotřeby příslušných vývodů.

3.1 Měření na 1. skrývkovém řezu

Napájení 1. skrývkového řezu je provedeno prostřednictvím tří venkovních napájecích linek V 309 (TR III), V 409 (TR IV) a V 413 (TR IV) a pěti přesuvných distribučních stanic TSN 53, DT 65, TSN 66, TSN 69 a DT 74. Z těchto distribučních stanic je rozvod elektrické energie proveden výhradně kabelovými rozvody.

Na tomto řezu je napájena technologie sestávající z rypadla SchRs 1550/4x30, čtrnácti poháněcích stanic dopravní linky o délce cca 12 km a zakladače ZPD 6800.1 .

Rypadlo je napájeno kabelem na napěťové hladině 35kV. Zbývající technologie 1. skrývkového řezu je napájena pomocí kabelových rozvodů na napěťové hladině 6 kV.

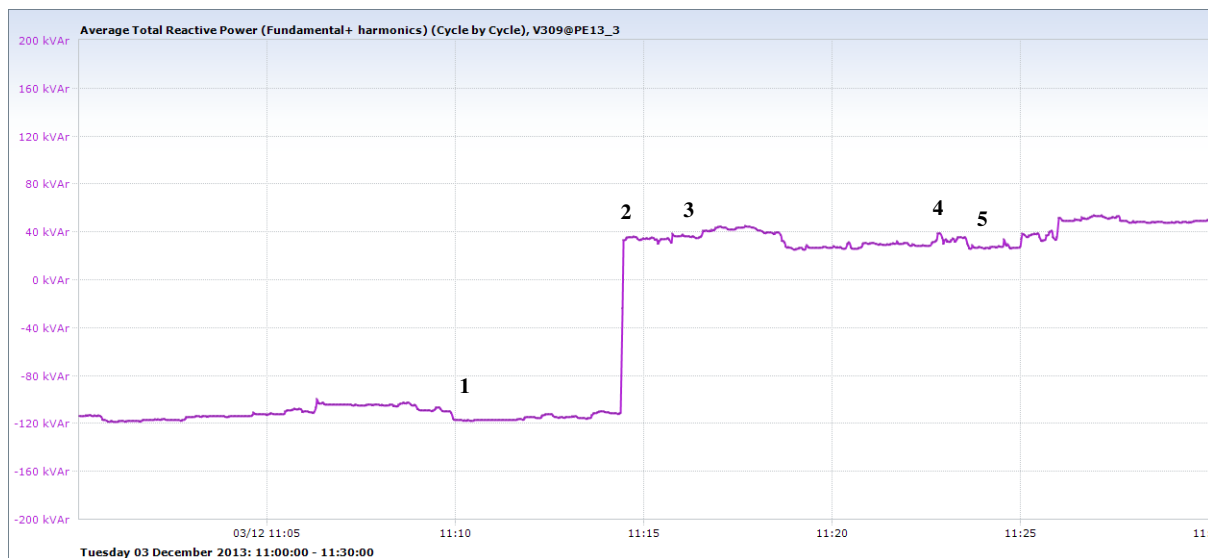
V době měření je navíc z DT 74 napájeno rypadlo 2. skrývkového řezu SchRs 1320/4x30 .

3.1.1 Měření na lince V 309

Linka V 309 je napájena z rozvodny TR3 – Málkov. Na této lince se nachází přesuvná distribuční stanice TSN 53 a spínací kiosek VSS 10 (pomocný napájecí bod pro rypadlo) . Mimo tato zařízení je z linky V 309 napájena rozvodna TR4 – Březno. Rozvodnu TR4 - Březno nebylo možné v době měření vypnout. V době měření není na TSN53 ani VSS10 připojena žádná technologie (jsou připojeny pouze kabely). Na VSS10 je připojen kabelový zásobník 35 kV s kabelem délky cca 1500m.

3.1.1.1 Vyhodnocení měření na V 309

Z naměřených hodnot napětí a proudů byly vytvořeny grafy průběhů činného výkonu, jalového výkonu, zdánlivého výkonu a $\cos \varphi$. Na obr. 3.1 je zobrazen detail průběhu jalového výkonu při provedených úkonech (viz příloha C1). Z průběhu jalového výkonu byly následně stanoveny hodnoty jalového výkonu pro kabelový zásobník 35 kV, kabely 6 kV připojené na TSN 53 a jalový výkon distribučního transformátoru 6,3 MVA na TSN 53.



Obr. 3.1 Detail průběhu jalového výkonu linky V 309 během měření

Při měření na lince V309 nebylo možné odpojit rozvodnu TR4 Březno, ze které byla v době měření napájena technologie provozu uhelných lomů.

Tab. 3.1 Hodnoty jalového výkonu určené z měření linky V 309

	úkon	začátek	konec	čas odečtu	P [kW]	Q _{kap} [kvar]	Q _{ind} [kvar]	cos φ [-]
1	Měření poměrů na V 309 při kompletně připojené technologii			11:10	395,6	117,2		-0,958
2	Vypnutí kabelového zásobníku 35 kV (č.2) na VSS 10	11:14:25		11:15	388,9		34,7	0,995
3	Vypnutí sekundární strany transformátoru 35/6kV na TSN 53	11:15:44		11:18	388,2		41,35	0,994
4	Vypnutí primární strany transformátoru 35/6kV na TSN 53	11:23:34		11:24	385,2		26,7	0,995

Pozn. Čísla v prvním sloupečku odpovídají číslům v grafu na obr.3.1

Z hodnot uvedených v tabulce tab. 3.1 byly výpočtem stanoveny příspěvky výkonů jednotlivých technologických zařízení připojených na TSN 53 a VSS 10.

Tab. 3.2 Hodnoty jalového výkonu technologických zařízení připojených na lince V 309

zařízení	P [kW]	Q _{kap} [kvar]	Q _{ind} [kvar]	cos φ [-]
V 309 - celá technologie (bez zatížení na TSN 53 a VSS 10)	395,6	117,2		-0,958
kabelový zásobník 35 kV č.2 - 1700 m (s = 70mm ²)	6,7	151,9		
kabely 6 kV + technologie připojené na TSN 53	0,7	6,65		
transformátor 35/6 kV na TSN 53	3		14,65	
venkovní vedení V309 (po odpojení TSN53 a VSS 10)	385,2		26,7	0,995

Z vypočtených hodnot je zřejmé, že největší podíl kapacitní jalové energie má kabel 35 kV navinutý na kabelovém zásobníku. Jedná se o kabel délky cca 1700 m s průřezem vodičů 3x70+3x16+25 mm². Pro průřez kabelu 3x70+3x16+25 mm² je přepočtená hodnota na jeden kilometr délky kabelu cca 89 kvar.km⁻¹.

Distribuční transformátor na TSN 53 s výkonem 6,3 MVA a statickou kompenzací 300 kvar na sekundární straně odebírá cca 15 kvar induktivního výkonu.

Vzhledem k tomu, že v době měření nebylo možné odpojit rozvodnu TR4 Březno, nebylo možné stanovit odběr nezatížené linky.

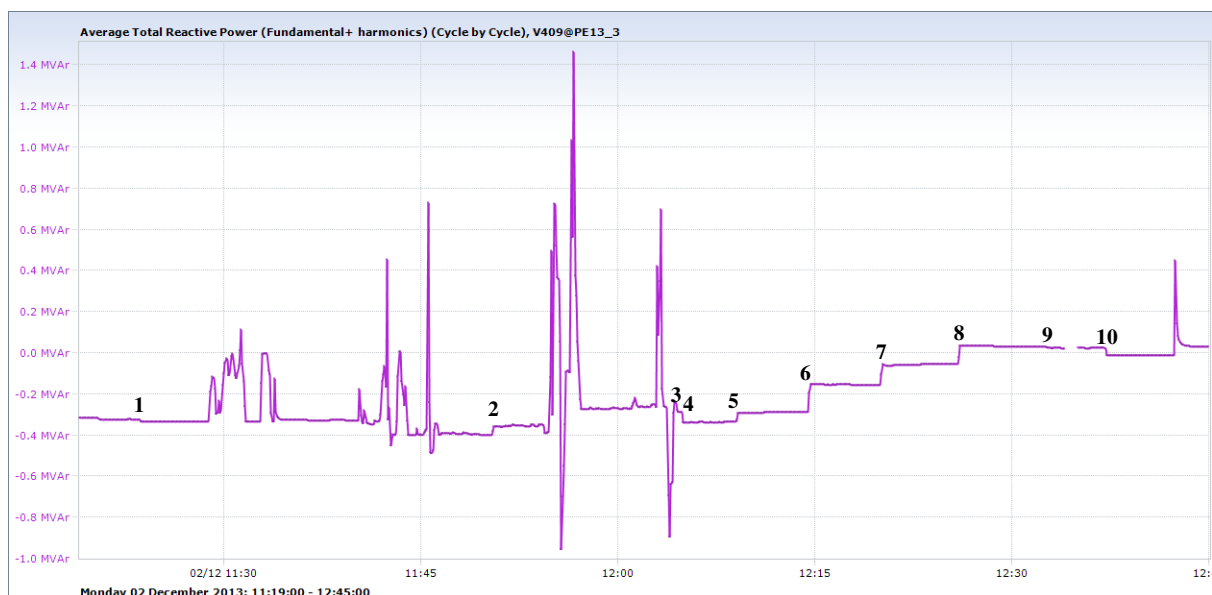
3.1.2 Měření na lince V 409

Linka V 409 je napájena z rozvodny TR4 – Březno. Na této lince se nachází přesuvná distribuční stanice DT 65 jejíž součástí je samostatný vývod 35 kV, který slouží jako napájecí bod pro rypadlo SchRs 1550/4x30. V době měření je napájecí linka rypadla sestavena ze tří kabelových vozů a kabelového zásobníku na rypadle.

3.1.2.1 Vyhodnocení měření na V 409

Z naměřených hodnot napětí a proudů, naměřených na lince V 409, byly vytvořeny grafy průběhů činného, jalového a zdánlivého výkonu a cos φ. Detail průběhu jalového výkonu při provedených úkonech (viz příloha C2) je zobrazen na obr. 3.2. Z průběhu jalového výkonu byly následně stanoveny hodnoty jalového výkonu pro rypadlo SchRs 1550/4x30, kabelové vozy 35 kV, kabel 6 kV připojený na DT 65 a jalový výkon distribučního transformátoru 6,3 MVA na DT 65.

Při měření na lince V 409 došlo při najíždění dopravní linky velkstroje k výpadku přívodu rypadla, proto bylo nutné najetí dopravní linky zopakovat.



Obr. 3.2 Detail průběhu jalového výkonu linky V 409 během měření

Z hodnot uvedených v tabulce tab. 3.3 byly výpočtem stanoveny příspěvky výkonů jednotlivých technologických zařízení připojených na DT 65 a stav linky V 409 bez zatížení a při vypnutém distribučním bodu DT 65 (na DT 65 byl pod napětím pouze transformátor vlastní spotřeby) .

Tab. 3.3 Hodnoty jalového výkonu určené z měření linky V 409

	úkon	začátek	konec	čas odečtu	P [kW]	Q _{kap} [kvar]	Q _{ind} [kvar]	cos φ [-]
1	Měření poměrů na V 409			11:20	63,8	317		-0,19
2	Chod dopravní linky SchRs 1550/109 naprázdno	11:52:14	12:03:51	12:00	400	269		-0,808
3	Měření poměrů na V 409 při odstavené technologii	12:03:51	12:04:56	12:04:45	63,22	288,5		-0,213
4	Odpojení SchRs 1550/109	12:04:56		12:07	-0,3	338,8		-0,0004
5	Vypnutí prvního kabelového vozu 35 kV (č.3)	12:09:05		12:10	1,5	292,8		-0,005
6	Vypnutí druhého kabelového vozu 35 kV (č.2)	12:14:32		12:15	4,4	156		-0,027
7	Vypnutí třetího kabelového vozu 35 kV (č.1)	12:20:02		12:25	10,6	55,5		-0,18
8	Vypnutí vývodu pro SchRs 1550/109 na DT 65	12:25:56		12:30	15,5		29,1	0,47
9	Vypnutí sekundární strany transformátoru 35/6kV na DT 65	12:32_37		12:35	12,7		21,2	0,455
10	Vypnutí primární strany transformátoru 35/6kV na DT 65	12:37:08		12:39	0,6	15,5		-0,042

Pozn. Čísla v prvním sloupečku odpovídají číslům v grafu na obr.3.2

Tab. 3.4 Hodnoty jalového výkonu technologických zařízení připojených na lince V 409

zařízení	P [kW]	Q _{kap} [kvar]	Q _{ind} [kvar]	cos φ [-]
V 409 - celá technologie (bez zatížení)	63,8	317		-0,19
rypadlo SchRs 1550/109 (v klidu)	63,52		50,3	
kabelový zásobník na rypadle SchRs 1550/109 - 500 m (s = 50mm ²)		46		
kabelový vůz 35 kV č.1 - 1000 m (s = 70mm ²)		84,6		
kabelový vůz 35 kV č.2 - 1200 m (s = 70mm ²)		100,5		
kabelový vůz 35 kV č.3 - 1500 m (s = 50mm ²)		136,8		
kabely 6 kV (200 m) + technologie připojené na DT 65	2,8		7,9	
transformátor 35/6 kV na DT 65	12,1		36,7	
venkovní vedení V 409	0,6	15,5		-0,042

Z naměřených hodnot uvedených v tab. 3.4 vidíme, že linka V409 bez zátěže má kapacitní charakter a je zdrojem kapacitní reaktance o výkonu 317 kvar. Dojde li však k výpadku rypadla je linka V409 zdrojem kapacitní reaktance až 339 kvar. Po odpojení distribučního bodu DT 65 zůstává venkovní linka V 409 zatížena kapacitní reaktancí ve výši 15,5 kvar.

Největším zdrojem kapacitní reaktance jsou kabely 35 kV, jejichž celkový podíl je až 368 kvar. Pro napájení jsou použity dva průřezy kabelů. Pro průřez kabelu 3x50+3x16+25 mm² je přepočtená hodnota na jeden kilometr délky kabelu cca 92 kvar.km⁻¹ a pro průřez kabelu 3x70+3x16+25 mm² je přepočtená hodnota na jeden kilometr délky kabelu cca 84 kvar.km⁻¹.

Technologie připojená kabelem 6kV (200m) z DT 65 (PS 216) má vyšší induktivní reaktanci, než je kapacitní reaktance napájecího kabelu 6 kV.

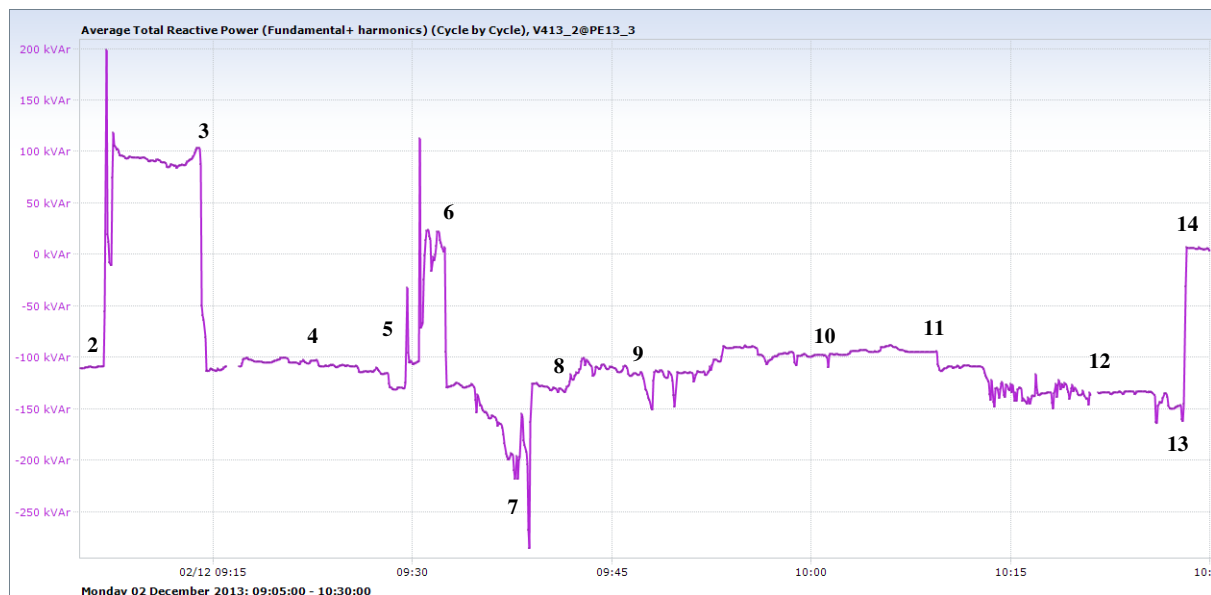
Distribuční transformátor na DT 65 s výkonem 6,3 MVA a statickou kompenzací 50 kvar na sekundární straně odebírá cca 36,7 kvar induktivního výkonu.

3.1.3 Měření na lince V 413

Linka V 413 je napájena z rozvodny TR IV – Březno. Na této lince se nachází přesuvné distribuční stanice TSN 66, 69 a DT 74 jejíž součástí je samostatný vývod 35 kV, který slouží jako napájecí bod pro rypadlo (v době měření využíván jako napájení rypadla SchRs 1320/4x30). Přesuvné distribuční stanice TSN 66, 69 a DT 74 jsou vybaveny přesuvnými kompenzačními kiosky (regulovaná skupinová kompenzace).

3.1.3.1 Vyhodnocení měření na V 413

Z naměřených hodnot napětí a proudů, naměřených na lince V 413, byly vytvořeny grafy průběhů činného, jalového a zdánlivého výkonu a cos φ. Detail průběhu jalového výkonu při provedených úkonech (viz příloha C3) je zobrazen na obr. 3.3. Z průběhu jalového výkonu byly následně stanoveny hodnoty jalového výkonu pro rypadlo SchRs 1320/4x30, zakladač ZPD 6800.1, kabelovou trasu 35 kV, kabely 6 kV připojené na TSN 66, TSN 69 a DT 74 a jalový výkon distribučních transformátorů 6,3 MVA na TSN 66, TSN 69 a DT 74.



Obr. 3.3 Detail průběhu jalového výkonu linky V 413 během měření

Z průběhu jalového výkonu na lince V 413 (obr. 3.3) byly odečtené hodnoty přeneseny do tabulky „Hodnoty jalového výkonu určené z měření linky V 413“ (tab. 3.5).

Tab. 3.5 Hodnoty jalového výkonu určené z měření linky V 413

	úkon	začátek	konec	čas odečtu	P [kW]	Q _{kap} [kvar]	Q _{ind} [kvar]	cos φ [-]
1	Měření poměrů na V 413				339	109,5		-0,95
2	Chod dopravní linky ZPD 6800/100 naprázdno	9:06:56	9:14:04	9:10	305		96	0,956
3	Měření poměrů na V 413 při odstavené technologii	9:14:04	9:21:57	9:20	335	102		-0,956
4	Vypnutí zakladače ZPD 6800/100 (na zakladači)	9:21:57	9:23:28	9:29	310	130		-0,922
5	Vypnutí vývodu pro ZPD 6800/100 na TSN 66	9:29:32		9:30	298	107		-0,941
6	Vypnutí sekundární strany transformátoru 35/6kV na TSN 66	9:31:02		9:34	306,5	129,6		-0,922
7	Vypnutí primární strany transformátoru 35/6kV na TSN 66	9:38:09		9:40	305,6	128,5		-0,922
8	Vypnutí sekundární strany transformátoru 35/6kV na TSN 69	9:41:51		9:43	275,8	111		-0,927
9	Vypnutí primární strany transformátoru 35/6kV na TSN 69	9:52:21		9:54	230	91		-0,929
10	Vypnutí sekundární strany transformátoru 35/6kV na DT 74	10:01:09		10:05	224	94,5		-0,921
11	Vypnutí primární strany transformátoru 35/6kV na DT 74	10:09:26		10:12	237	109		-0,909
12	Odpojení SchRs 1320/110 (na přívodu rypadla)	10:20:47	10:20:50	10:24	227	134		-0,861
13	Vypnutí vývodu pro SchRs 1320/110 na DT 74	10:28:04		10:29	14,7		4,6	0,953

Pozn. Čísla v prvním sloupečku odpovídají číslům v grafu na obr.3.3

Z hodnot uvedených v tabulce tab. 3.5 byly výpočtem stanoveny hodnoty jednotlivých technologických zařízení připojených na TSN 66, TSN 69 a DT 74 a stav linky V 413 bez zatížení a

při vypnutých distribučních bodech TSN 66, TSN 69 a DT 74 (na těchto distribučních bodech byly pod napětím pouze transformátory vlastní spotřeby).

Tab. 3.6 Hodnoty jalového výkonu technologických zařízení připojených na lince V 413

zařízení	P [kW]	Q _{kap} [kvar]	Q _{ind} [kvar]	cos φ [-]
V 413 - celá technologie (bez zatížení)	339	109,5		-0,95
zakladač ZPD 6800/100 (v klidu)	25		28	
rypadlo SchRs 1320/110	110		25	
napájecí kabel 35 kV pro rypadlo SchRs 1320/110 - 3600 m	212,3	138,6		
napájecí kabel 6 kV pro zakladač ZP 5500/80	12	23		
kabely 6 kV + technologie připojené na TSN 66	3,5	0,4		
kabely 6 kV + technologie připojené na TSN 69	29,8	17,5		
kabely 6 kV + technologie připojené na DT 74	6		3,5	
transformátor 35/6 kV na TSN 66	0,9	1,1		
transformátor 35/6 kV na TSN 69	45,8	20		
transformátor 35/6 kV na DT 74	-13		14,5	
venkovní vedení V 413	14,7		4,6	0,953

Při měření na lince V 413 bylo na DT 74 připojeno rypadlo SchRs 1320/4x30, které je včetně příslušných kabelových vozů detailněji měřeno při měření linky V 307, proto je zjišťován příspěvek napájecí kabelové trasy pouze orientačně.

Z naměřených hodnot uvedených v tab. 3.6 vidíme, že linka V413 bez zátěže má kapacitní charakter a je zdrojem kapacitní reaktance o výkonu cca 110 kvar. Dojde-li však k odpojení induktivních zátěží v podobě rypadla a zakladače, je linka V413 zdrojem kapacitní reaktance až 163 kvar. Po odpojení distribučních bodů TSN 66, TSN 69 a DT 74 (mimo transformátory vlastní spotřeby) získá venkovní linka V 413 induktivní charakter s induktivní reaktancí ve výši 4,6 kvar.

3.2 Měření na 2. skrývkovém řezu

Napájení 2. skrývkového řezu je provedeno prostřednictvím jedné venkovní linky V 307 (TR III), a dvou přesuvných distribučních stanic DT 51 a DT 52. Z těchto přesuvných distribučních stanic je rozvod elektrické energie řešen výhradně kabelovými rozvody.

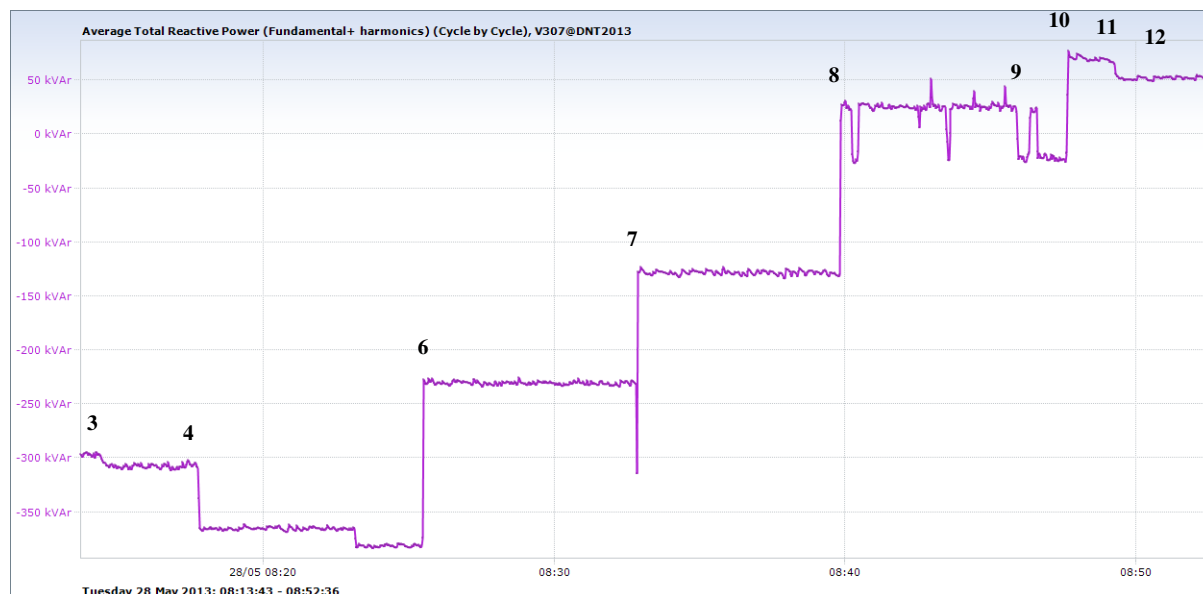
Na tomto řezu je napájena technologie sestávající z rypadla SchRs 1320/4x30, 9 ks poháněcích stanic dopravní linky o délce cca 8 km a zakladače ZP 5500/4.

Rypadlo je napájeno kabelem na napěťové hladině 35 kV. Zbývající technologie 2. skrývkového řezu je napájena pomocí kabelových rozvodů na napěťové hladině 6 kV.

3.2.1.1 Vyhodnocení měření na V 307

Z hodnot napětí a proudů, naměřených na lince V 307, byly vytvořeny grafy průběhů činného, jalového a zdánlivého výkonu a cos φ. Detail průběhu jalového výkonu při provedených úkonech (viz příloha C4) je zobrazen na obr. 3.4. Z průběhu jalového výkonu byly následně stanoveny hodnoty

jalového výkonu pro rypadlo SchRs 1320/4x30, zakladač ZP 5500, kabelové vozy 35 kV, kabely 6 kV připojené na DT 51, DT 52 a jalový výkon distribučních transformátorů 6,3 MVA na DT 51 a DT 52.



Obr. 3.4 Detail průběhu jalového výkonu linky V 307 během měření

Z průběhu jalového výkonu na lince V 307 (obr. 3.4) byly odečtené hodnoty přeneseny do tabulky „Hodnoty jalového výkonu určené z měření linky V 307“ (tab. 3.7).

Tab. 3.7 Hodnoty jalového výkonu určené z měření linky V 307

	úkon	začátek	konec	čas odečtu	P [kW]	Q _{kap} [kvar]	Q _{ind} [kvar]	cos φ [-]
1	Měření poměrů na V 307			7:55	138,6	309		-0,4
2	Chod dopravní linky SchRs 1320/110 naprázdno	8:00:00	8:13:21	8:10	636		722	0,581
3	Měření poměrů na V307 při odstavené technologii			8:15	143,7	306,9		-0,403
4	Odpojení SchRs 1320/110	8:17:44	8:23:09	8:24	44,5	383		-0,11
5	Vypnutí prvního kabelového vozu 35 kV (č.6) - nelze provést - nemá odpojovač							
6	Vypnutí druhého kabelového vozu 35 kV (č.5)	8:25:26		8:30	64,7	230,8		-0,27
7	Vypnutí třetího kabelového vozu 35 kV (č.4)	8:32:51		8:35	51,3	127,8		-0,373
8	Vypnutí vývodu pro SchRs 1320/110	8:39:50		8:40	54		31	0,967
9	Vypnutí zakladače ZP 5500/80 (na zakladači)	8:45:55		8:46	41,8	20,5		-0,898
10	Vypnutí sekundární strany transformátoru 35/6kV na DT 51	8:47:39		8:48	22		74	0,292
11	Vypnutí primární strany transformátoru 35/6kV na DT 51	8:49:17		8:50	29,4		50	0,499
12	Vypnutí transformátoru vlastní spotřeby na DT 51	8:50:02		8:51	24,4		51,7	0,434

Pozn. Čísla v prvním sloupečku odpovídají číslům v grafu na obr.3.4

Z hodnot uvedených v tabulce tab. 3.7 byly výpočtem stanoveny příspěvky výkonových hodnot, jednotlivých technologických zařízení, připojených na DT 51 a DT 52 a stav linky V 307 bez zatížení a při vypnutém distribučním transformátoru na DT 51 (pod napětím zůstaly transformátory vlastní spotřeby a distribuční transformátor DT 52).

Tab. 3.8 Hodnoty jalového výkonu technologických zařízení připojených na lince V 307

zařízení	P [kW]	Q _{kap} [kvar]	Q _{ind} [kvar]	cos φ [-]
V 307 - celá technologie (bez zatížení)	138	309		-0,4
rypadlo SchRs 1320/110	99,2		76,1	
kabelový vůz 35 kV č.4 - 1900 m	-2,7	158,8		
kabelový vůz 35 kV č.5 - 1200 m	13,4	103		
kabelový vůz 35 kV č.6 + kabelový zásobník 35 kV rypadla - 1400+500 m	-20,2	152,2		
zakladač ZP 5500/80	12,2		51,5	
kabely 6 kV + technologie připojené na DT51	19,8	94,5		
kabely 6 kV + technologie připojené na DT52				
transformátor 35/6 kV na DT 51	-7,4		24	
venkovní vedení V307				

Při měření na lince V 307 došlo k poruše měření a proto část údajů měřených na DT 52 chybí.

Z naměřených hodnot uvedených v tab. 3.8 vidíme, že linka V 307 bez zátěže má kapacitní charakter a je zdrojem kapacitní reaktance o výkonu cca 309 kvar. Dojde-li však k odpojení induktivních zátěží v podobě rypadla a zakladače, je linka V 307 zdrojem kapacitní reaktance až 434 kvar. Po odpojení 6 kV distribučních bodů DT 51 (mimo transformátory vlastní spotřeby) získá venkovní linka V 307 induktivní charakter s induktivní reaktancí ve výši 4,6 kvar.

Největším zdrojem kapacitní reaktance jsou kabely 35 kV, jejichž celkový podíl je až 414 kvar. Pro napájení jsou použity dva průřezy kabelů. Pro kabelový vůz 35 kV č.4 je přepočtená hodnota na jeden kilometr délky kabelu cca 84 kvar.km⁻¹, pro kabelový vůz 35 kV č.5 je přepočtená hodnota na jeden kilometr délky kabelu cca 86 kvar.km⁻¹ a pro kabelový vůz 35 kV č.6 včetně kabelového zásobníku rypadla je přepočtená hodnota na jeden kilometr délky kabelu cca 80 kvar.km⁻¹.

Technologie připojená pomocí kabelů 6kV z DT 51 má kapacitní reaktanci ve výši 94,5 kvar, což odpovídá přepočtené hodnotě na jeden kilometr délky kabelu ve výši cca 18,4 kvar.km⁻¹.

Technologie připojená pomocí kabelů 6kV z DT 52 má kapacitní reaktanci ve výši 177,2 kvar, což odpovídá hodnotě vypočtené z délky kabelů připojených na DT 52.

Distribuční transformátor na DT 51 s výkonem 6,3 MVA a statickou kompenzací 50 kvar na sekundární straně odebírá cca 24 kvar induktivního výkonu.

3.3 Měření na 3. skrývkovém řezu

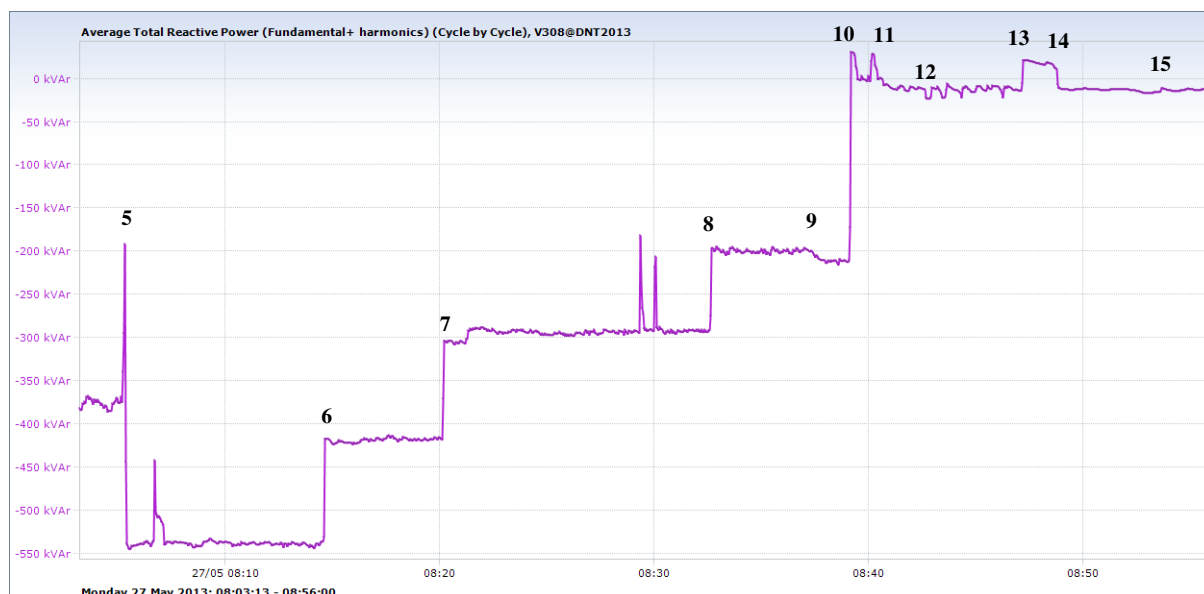
Napájení 3. skrývkového řezu je provedeno prostřednictvím jedné venkovní linky V 308 (TR III), a dvou přesuvných distribučních stanic DT 55 a DT 64. Z těchto přesuvných distribučních stanic je rozvod elektrické energie proveden výhradně kabelovými rozvody.

Na tomto řezu je napájena technologie sestávající z rypadla KU 800/20, 8 ks poháněcích stanic dopravní linky o délce cca 6 km a zakladače ZPDH 6300/1.

Rypadlo je napájeno kabelem na napětí 35 kV. Zbývající technologie 3. skrývkového řezu je napájena pomocí kabelových rozvodů na napětí 6 kV.

3.3.1.1 Vyhodnocení měření na V 308

Z hodnot napětí a proudů, naměřených na lince V 308, byly vytvořeny grafy průběhů činného, jalového a zdánlivého výkonu a $\cos \varphi$. Detail průběhu jalového výkonu při výše uvedených úkonech (viz příloha C5) je zobrazen na obr. 3.5. Z průběhu jalového výkonu byly následně stanoveny hodnoty jalového výkonu pro rypadlo KU 800, zakladač ZPDH 6300, kabelové vozy 35 kV, kabely 6 kV připojené na DT 55, DT 64 a jalový výkon distribučních transformátorů 6,3 MVA na DT 55 a DT 64.



Obr. 3.5 Detail průběhu jalového výkonu linky V 308 během měření

Z průběhu jalového výkonu na lince V 308 (obr. 3.5) byly odečtené hodnoty přeneseny do tabulky „Hodnoty jalového výkonu určené z měření linky V 308“ (tab. 3.9).

Tab. 3.9 Hodnoty jalového výkonu určené z měření linky V 308

	úkon	začátek	konec	čas odečtu	P [kW]	Q _{kap} [kvar]	Q _{ind} [kvar]	cos φ [-]
1	Měření poměrů na V 307			7:10	148	278		-0,472
2	Chod dopravní linky KU 800/20 (naprázdno)	7:16:58	7:28:35	7:25	981		2586	0,355
3	Měření poměrů na V308 při odstavené technologii	7:29:38		7:30	171,2	221,8		-0,617
4	Odpojení KU 800/20 (na rypadle)	7:34:06	7:39:53	7:45	72,5	360		-0,197
5	Vypnutí prvního kabelového vozu 35 kV (č.9)	8:05:13	8:05:24	8:10	63,8	537		-0,105
6	Vypnutí druhého kabelového vozu 35 kV (č.8)	8:14:36	8:14:38	8:15	69	423		-0,151
7	Vypnutí třetího kabelového vozu 35 kV (č.7)	8:20:11		8:21	59,9	312,5		-0,2
8	Vypnutí vývodu pro KU 800/20 na DT 64	8:32:39		8:38	52	212,9		-0,232
9	Vypnutí zakladače ZPDH 6300/101 (na zakladači)	8:39:06	8:39:09	8:39:45	34,4	253,4		-0,135
10	Vypnutí sekundární strany transformátoru 35/6kV na DT 64	8:39:55		8:40	38,1		38	0,999
11	Vypnutí primární strany transformátoru 35/6kV na DT 64	8:40:40		8:42	22,5	10,5		-0,907
12	Vypnutí transformátoru vlastní spotřeby na DT 64	8:42:45		8:44	24,5	13		-0,88
13	Vypnutí sekundární strany transformátoru 35/6kV na DT 55	8:47:08		8:48	13,6		16,6	0,634
14	Vypnutí primární strany transformátoru 35/6kV na DT 55	8:48:47		8:51	0,4	13,7		-0,028
15	Vypnutí transformátoru vlastní spotřeby na DT 55	8:53:37		8:55	-1,6	12,5		-0,124

Pozn. Čísla v prvním sloupečku odpovídají číslům v grafu na obr.3.5

Z hodnot uvedených v tabulce tab. 3.9 byly výpočtem stanoveny příspěvky výkonů jednotlivých technologických zařízení připojených na DT 55 a DT 64 a stav linky V 308 bez zatížení a při vypnutých distribučních bodech DT 55 a DT 64.

Tab. 3.10 Hodnoty jalového výkonu technologických zařízení připojených na lince V 308

zařízení	P [kW]	Q _{kap} [kvar]	Q _{ind} [kvar]	cos φ [-]
V 308 - celá technologie (bez zatížení)	171,2	221,8		-0,617
rypadlo KU 800/20	107,4		315,2	
kabelový vůz 35 kV č.7 - 1200 m	7,9	99,6		
kabelový vůz 35 kV č.8 - 1300 m	9,1	110,5		
kabelový vůz 35 kV č.9 - 1350 m	-5,2	114		
zakladač ZPDH 6300/101	17,6		40,5	
kabely 6 kV + technologie připojené na DT 55	13,2	29,6		
kabely 6 kV + technologie připojené na DT 64	11,9	291,4		
transformátor 35/6 kV na DT 55	-3,7		48,5	
transformátor 35/6 kV na DT 64	-2		2,5	
venkovní vedení V308	-1,6	12,5		-0,124

Při měření na lince V 308 došlo v průběhu měření k najetí PD 252 což je vidět na celkovém průběhu jalového výkonu v čase 7:50 až 8:00 hod (viz příloha C5).

Z naměřených hodnot uvedených v tab. 3.10 vidíme, že linka V 308 bez zátěže má kapacitní charakter a je zdrojem kapacitní reaktance o výkonu cca 222 kvar. Dojde li však k odpojení induktivních zátěží v podobě rypadla a zakladače je linka V 308 zdrojem kapacitní reaktance až 577,5 kvar. Po odpojení 6 kV distribučních bodů DT 55 a DT 64 dosáhne venkovní linka V 308 kapacitní charakter s reaktancí ve výši 12,5 kvar.

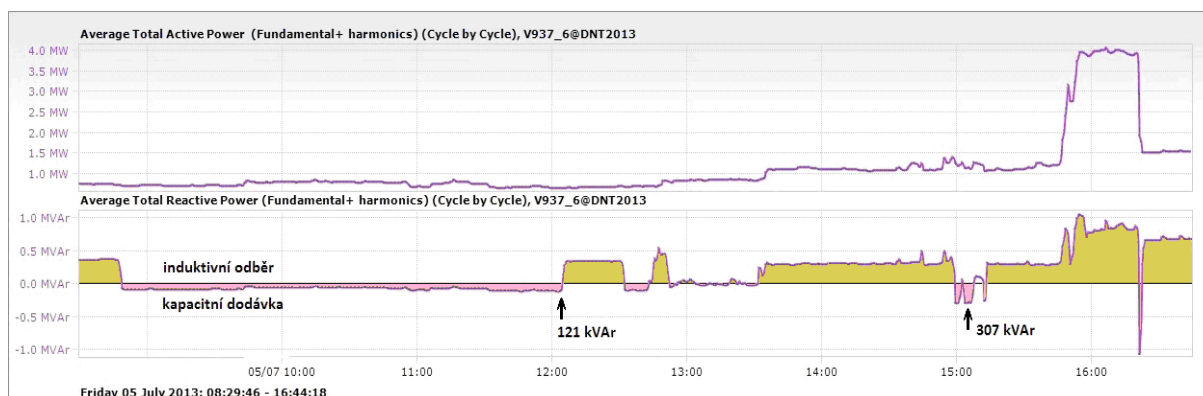
Největším zdrojem kapacitní reaktance jsou kabely 35 kV, jejichž celkový podíl je až 324,1 kvar. Pro napájení jsou použity dva průřezy kabelů. Pro kabelový vůz 35 kV č.7 je přepočtená hodnota na jeden kilometr délky kabelu cca 83 kvar.km⁻¹, pro kabelový vůz 35 kV č.8 je přepočtená hodnota na jeden kilometr délky kabelu cca 85 kvar.km⁻¹ a pro kabelový vůz 35 kV č.9 + kabelový zásobník rypadla je přepočtená hodnota na jeden kilometr délky kabelu cca 84 kvar.km⁻¹.

Technologie připojená pomocí kabelů 6 kV z DT 55 má kapacitní reaktanci ve výši 29,6 kvar. Technologie připojená pomocí kabelů 6 kV z DT 64 má kapacitní reaktanci ve výši 291,4 kvar.

Distribuční transformátor na DT 55 s výkonem 6,3 MVA a statickou kompenzací 50 kvar na sekundární straně odebírá cca 48,5 kvar induktivního výkonu. Distribuční transformátor na DT 64 s výkonem 6,3 MVA a statickou kompenzací 50 kvar na sekundární straně odebírá cca 2,5 kvar induktivního výkonu.

3.4 Měření napájecího bodu povrchového dolu – TR II

Měření zachycuje technologickou odstávku provozu, ke které došlo ve dne 5.7.2013 od 4:40 hod. do 17:15 hod (viz příloha C6). Při měření byla na tři hodiny odpojena centrální kompenzace na TR II. Během měření nebylo možné odstavit železniční vlečky přepravy uhlí do elektráren a čerpací stanice odvodnění povrchového dolu.

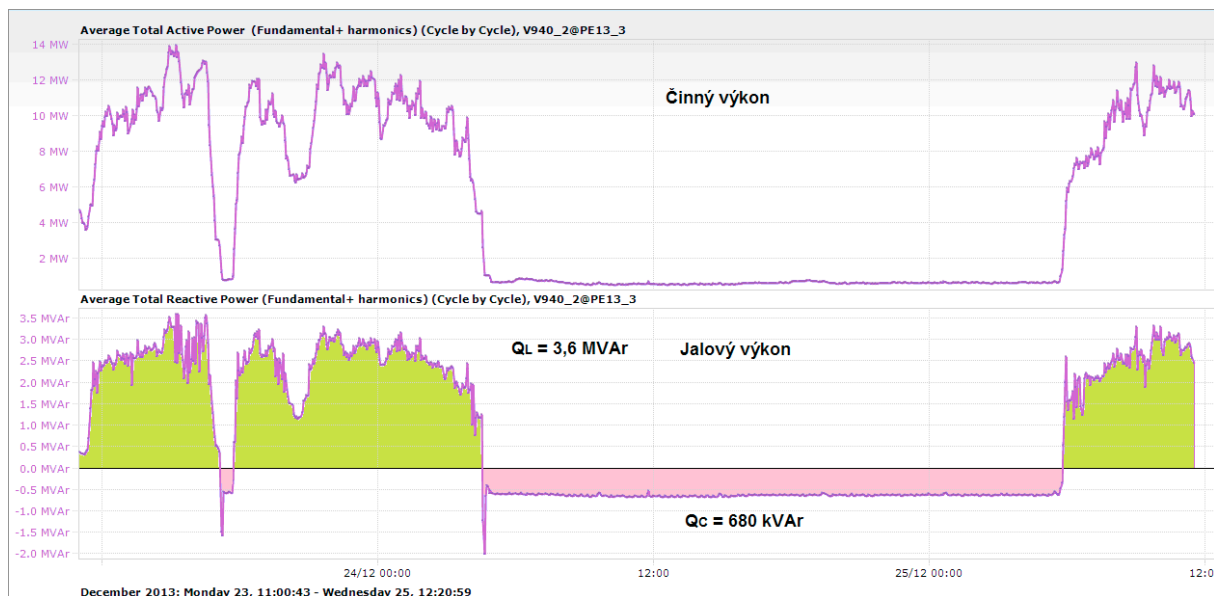


Obr. 3.6 Část průběhu výkonů napájecí linky V 937 (TR II) při vypnutí technologie

Z průběhu měření vidíme, že po vypnutí technologie nedochází okamžitě k překompenzování napájecí linky V937. Z napájecí sítě je naopak odebírán jalový výkon **400 kvar**. Překompenzování linky se objevuje až v 8:45 hod po zapnutí centrální kompenzace a do napájecí sítě je dodáván kapacitní výkon $Q_c = 121 \text{ kvar}$. Tato dodávka je způsobena sepnutím kompenzačního stupně centrální kompenzace.

3.5 Měření napájecího bodu povrchového dolu – TR III

Měření zachycuje technologickou odstávku provozu, ke které došlo ve dnech 24.12.2013 od 4:40 hod. až 25.12.2013 do 5:53 hod.



Obr. 3.7 Průběhy výkonů napájecí linky V 940 (TR III) při vypnutí technologie

Z průběhu měření vidíme, že po vypnutí technologie dochází k překompenzování napájecí linky V940 a do napájecí sítě je dodáván kapacitní výkon $Q_c = 680 \text{ kvar}$ a to po celou dobu technologické odstávky, takže během technologické odstávky je do napájecí sítě dodáno **17 Mvarh** jalové energie kapacitního charakteru.

Měření však ukazuje pouze jalový výkon dodávaný kabelovými vedeními připojenými v době měření. Na napěťové hladině 35kV byly v době měření připojeny:

PS S1 – zapojeny tři kabelové vozy + jeden kabelový zásobník

PS S2 – zapojeny dva kabelové vozy + dva kabelové zásobníky, *odstaveno pět kabelových vozů*

PS S3 – zapojeny dva kabelové vozy, *odstaveny čtyři kabelové vozy*

Na kabelových vozech, odstavených v době měření, se nachází celkem 12,4 km kabelu, což při průměrné hodnotě 85 kvar.km^{-1} kabelu představuje potenciálně další **1 Mvar** jalové energie kapacitního charakteru.

Navíc vezmeme-li do úvahy možnost výpadku velkstroje v době technologické odstávky, dojde k dalšímu navýšení dodávky jalové energie kapacitního charakteru a to až o **442 kvar**.

Celkový potenciál kapacitní jalové energie rozvodů lokální distribuční energie je **2, 277 Mvar**.

3.6 Výsledky měření

Měření nám potvrdilo, že nejvýznamnějšími zdroji kapacitní jalové energie jsou napájecí kabely 35 kV a napájecí kabely 6 kV. Naopak nejvýznamnějšími zdroje induktivní jalové energie (při odstavené technologii) jsou transformátory na velkostrojích, distribuční transformátory a transformátory na poháněcích stanicích DPD.

Tab. 3.11 Hodnoty výkonů technologických zařízení provozu skrývek

zařízení	celá technologie		bez rypadla		venkovní vedení	
	P [kW]	Q [kvar]	P [kW]	Q [kvar]	P [kW]	Q [kvar]
V 307 - celá technologie (SchRs 1320/110)	138	-309	38,8	-385,1		
V 308 - celá technologie (KU 800/20)	171,2	-221,8	63,8	-537	-1,6	-12,5
V 309 - celá technologie			395,6	-117,2	385,2	26,7
V 409 - celá technologie (SchRs 1550/109)	63,8	-317	0,28	-367,3	0,6	-15,5
V 413 - celá technologie (SchRs 1320/110)	339	-109,5	239,8	-185,6	14,7	4,6

Změny jalové energie na jednotlivých měřených vývodech provozu skrývek, při odpojení jednotlivých částí technologie, jsou zobrazeny v tab 3.11. Po odpojení induktivní zátěže rypadel, která částečně kompenzuje kapacitní dodávku napájecích kabelů, dochází k navýšení kapacitní jalové energie na všech vývodech. Naopak po odpojení kabelových vedení a distribučních bodů dojde ke snížení kapacitní jalové energie dodávané zpět do sítě, což nám dokazuje, že nejvýznamnějším dodavatelem kapacitní jalové energie, v celé distribuční soustavě, jsou právě napájecí kabely 35kV a 6kV. U velmi krátkých venkovních vedení zůstává zachován kapacitní charakter vedení (V308, V409) i po odpojení celé technologie.

Tab. 3.12 Hodnoty výkonů velkostrojů na provozu skrývek (bez zátěže)

zařízení	P [kW]	Q _{ind} [kvar]
rypadlo SchRs 1550/109	63,52	50,3
rypadlo SchRs 1320/110	99,2	76,1
rypadlo KU 800/20	107,4	315,2
zakladač ZPD 6800/100	25	28
zakladač ZP 5500/80	12,2	51,5
zakladač ZPDH 6300/101	17,6	40,5

Velikosti induktivní jalové energie jednotlivých velkostrojů jsou uvedeny v tab 3.12. Největším odběratelem jalové energie je rypadlo KU 800/20, kde se na vstupu nachází čtyři transformátory 35/6kV v paralelním zapojení s celkovým výkonem 6,4MVA a transformátor vlastní spotřeby 35/0,4kV s výkonem 1,3MVA. Jalový výkon je zde třikrát větší než odebíraný činný výkon, což svědčí o špatně provedené kompenzaci rypadla.

I přes induktivní dodávku jalové energie transformátory velkostrojů, přenos činného výkonu nedosahuje ani v jednom případě přirozeného výkonu přenosových vedení.

Tab. 3.13 Hodnoty výkonů kabelových vozů 35 kV na provozu skryvek

zařízení	P [kW]	Q _{kap} [kvar]
kabelový zásobník na rypadle SchRs 1550/109 - 500 m	-1,8	46
kabelový vůz 35 kV č.1 - 1000 m	-2,9	84,6
kabelový vůz 35 kV č.2 - 1200 m	-6,2	100,5
kabelový vůz 35 kV č.3 - 1500 m	-4,9	136,8
kabelový vůz 35 kV č.4 - 1900 m	-2,7	158,8
kabelový vůz 35 kV č.5 - 1200 m	13,4	103
kabelový vůz 35 kV č.6 + kabelový zásobník 35 kV rypadla - 1400+500 m	-20,2	152,2
kabelový vůz 35 kV č.7 - 1200 m	7,9	99,6
kabelový vůz 35 kV č.8 - 1300 m	9,1	110,5
kabelový vůz 35 kV č.9 - 1350 m	-5,2	114
kabelový vůz 35 kV č.10 - 1200 m		102 *
kabelový vůz 35 kV č.11 - 1200 m		102 *
kabelový vůz 35 kV č.12 - 1200 m		102 *
kabelový vůz 35 kV č.13 - 1500 m		127,5 *
kabelový vůz 35 kV č.14 - 1500 m		127,5 *
kabelový vůz 35 kV č.15 - 1500 m		127,5 *
kabelový vůz 35 kV č.16 - 1500 m		127,5 *
kabelový zásobník 35 kV č.1 - 1200 m		102 *
kabelový zásobník 35 kV č.2 - 1700 m	6,7	151,9
kabelový zásobník 35 kV č.3 - 1200 m		102 *

*) Hodnoty jsou dopočítány z průměrné naměřené hodnoty pro kabel 35 CHBU 3x70+3x16+25mm², která činní 85 kvar.km⁻¹

Příspěvky kapacitní jalové energie jednotlivých kabelových vozů a kabelových zásobníků, jsou uvedeny v tab 3.13. Hodnoty všech kabelových vozů nebylo možné určit měřením, protože v době měření nebyly zařazeny v napájecí lince, jejich hodnota je určena z průměrné naměřené hodnoty příslušného kabelu. Celkový možný potenciál kapacitního jalového výkonu, který je možné dodávat napájecími kabely na napěťové hladině 35 kV činní **2,28 Mvar**.

V praxi je nepravděpodobné, že by došlo k vypnutí všech velkostrojů současně, i když to nelze zcela vyloučit. Vezmeme-li tedy do úvahy výpadek jednoho velkostroje (s největším odběrem jalové energie induktivního charakteru) a také skutečnost, že pravděpodobnost zařazení všech kabelových vozů do napájecích linek současně je velmi nízká, lze stanovit velikost maximálně dodávaného jalového výkonu na hodnotu **1,63 Mvar**.

4 Možnosti dekompenzace v rámci uvažované sítě

Lokální distribuční soustavu na DNT můžeme rozdělit na dvě části podle napěťové hladiny, která se užívá k napájení technologie. Každou z těchto částí je možné kompenzovat samostatně, nebo je možné kompenzovat zpětnou dodávku jalové energie pouze v napájecích bodech dolu vůči dodavateli elektrické energie. Kompenzace blíže místu spotřeby je výhodnější v tom, že snižuje přenos jalové energie ve vedení a tím současně snižuje ztráty ve vedení.

4.1 Kabelová vedení 6 kV

Kabelové rozvody na napěťové hladině 6 kV představují na DNT nejrozsáhlejší skupinu napájecích vedení pro technologie. Přesto dodávka kapacitní jalové energie není příliš vysoká. To je způsobeno tím, že napájená technologie je vybavena výkonovými transformátory (na poháněcích stanicích standardně 400 kVA), které částečně kompenzují kapacitní charakter napájecích kabelů.

4.1.1 Úprava kompenzace distribučních transformátorů

Kabelové rozvody na napěťové hladině 6 kV jsou napájeny z distribučních bodů, kde se z napěťové hladiny 35 kV transformuje na požadovaných 6 kV pomocí transformátorů o výkonu 6,3 MVA. Tyto transformátory jsou vybaveny kompenzační baterií (obvykle 50 - 300 kvar) připojenou přes pojistky hned za vývody sekundární strany transformátoru. Kompenzační baterie je složena z kondenzátorů o velikosti výkonu 50 kvar nebo 100 kvar. Tyto kondenzátory slouží ke kompenzaci transformátoru při odlehčení odběru z transformátoru, případně při odstavení technologie.

Vhodnou úpravou velikosti kompenzační baterie transformátoru lze snížit zpětnou dodávku jalové energie kabelových rozvodů 6 kV. Kabelové rozvody tak nahradí výkon odpojené kompenzační baterie.

Po vytypování částí rozvodné soustavy, kde dochází ke změnám délek vedení (porubní a zakládací části dopravních linek, nová výstavba části dopravní linky nebo její zrušení) a odpojení nadbytečných kabelových vozů, bych doporučil cca jednou za jeden až dva roky provést měření výkonu zpětné dodávky jalové energie pomocí analyzátoru sítě a podle naměřených hodnot upravit velikost kompenzační baterie transformátoru.

Výhody:

- cena řešení
- nevyžaduje další kompenzační prostředky
- snadná realizace

Nevýhody:

- navyšuje potřebu kompenzačního výkonu kondenzátorů
- nutnost sledování změn v délkách napájecích tras

4.1.2 Úprava kompenzačních kiosků skupinové kompenzace v distribučních bodech

Distribuční body, které jsou vybaveny skupinovou kompenzací, lze doplnit o dekompenzační tlumivku. Tato tlumivka by se nacházela na napěťové hladině 6 kV. Spínání tlumivky by bylo řízeno regulátorem účinníku, kterým jsou rozvaděče skupinové kompenzace vybaveny, podle hodnot snímaných na přívodu distribučního bodu. Tlumivka by se připojovala prostřednictvím vakuového stykače. Ochrana tlumivky by byla zajištěna pomocí pojistek. Velikost dekompenzační tlumivky by měla být v rozsahu 50 – 100 kvar.

Výhody:

- odpojením tlumivky při zatížení distribučního bodu se sníží ztráty vyvolané tlumivkou
- nenavyšuje potřebu kompenzačního výkonu kondenzátorů

Nevýhody:

- lze použít pouze u distribučních bodů vybavených skupinovou kompenzací
- přesuvné kompenzační kiosky nemají volný prostor k umístění tlumivky a příslušné výzbroje
- cena řešení

4.2 Kabelová vedení 35 kV

Kabelové rozvody na napěťové hladině 35 kV představují na DNT nejvýznamnější zdroj jalové energie kapacitního charakteru. Kabely 35 kV jsou navinuty na kabelových zásobnících a kabelových vozech, protože rypadla, která napájí, neustále mění svoji polohu. Změna délky napájecí trasy se řeší vřazováním a vyřazováním kabelových vozů, ze kterých se kabel postupně odvíjí a ukládá na zem. Po dobu, než se odvine délka kabelu umístěného na kabelovém voze, je délka napájecího kabelu konstantní.

4.2.1 Doplnění dekompenzačních tlumivek na kabelové vozy

Na kabelové vozy je možné instalovat dekompenzační tlumivky s výkonem odpovídajícím délce navinutého kabelu. Toto řešení má výhodu v tom, že vřazením, nebo vyřazením kabelového vozu do napájecí linky se automaticky připojí také odpovídající dekompenzační tlumivka. U tohoto řešení není nutné řešit regulaci dekompenzačního výkonu. Výkon dekompenzační tlumivky musí odpovídat kapacitnímu výkonu připojovaného vedení naprázdno. Tlumivka by byla připojena přes pojistky zajišťující ochranu.

Při použití tohoto řešení je nutné počítat s tím, že výkon dekompenzační tlumivky je za normálního provozu nutné nahradit kondenzátory s odpovídajícím výkonem (kompenzace musí mít dostatečnou výkonovou rezervu).

K napájení rypadel na provozu skrývek se používají dvě základní délky kabelu a to 1200 m a 1500 m. Pokud se na některých kabelových vozech nachází jiná délka je vhodné ji upravit na jednu

z výše zmíněných, aby nebylo nutné vyrábět mnoho tlumivek rozdílných výkonů. Pro určení reaktivního výkonu tlumivky platí:

$$Q_L = Q_V$$

Z naměřených hodnot víme, že: pro délku kabelu **1200 m** je potřebný výkon $Q_L = 100 \text{ kvar}$
a pro délku kabelu **1500 m** je potřebný výkon $Q_L = 135 \text{ kvar}$

Výhody:

- absence regulace
- vyloučení přechodných dějů při spínání a odpojování tlumivek

Nevýhody:

- tlumivka na vysokém napětí
- navyšuje potřebu kompenzačního výkonu kondenzátorů
- trvalé připojené tlumivky zatěžují vedení ztrátami na tlumivce
- zvýšené nároky na kontrolu stavu zařízení
- cena řešení

4.2.2 Doplnění dekompenzační tlumivky na rypadla

Při umístění dekompenzační tlumivky na rypadlo lze místo několika kompenzačních tlumivek rozmístěných na kabelových vozech použít jedinou tlumivku a to na nižší napětíové hladině (6 kV, 0,5 kV nebo 0,4kV). Při odpojení rypadla, např. z důvodu poruchy, se současně odpojí i dekompenzační tlumivka umístěná na stroji a přívodní kabel není v tomto případě kompenzován. Nabízí se nám dvě varianty řešení :

4.2.2.1 I. varianta - dekompenzační tlumivka s odbočkami

Na rypadla je možné instalovat dekompenzační tlumivku vybavenou odbočkami odpovídajícími délce připojovaných kabelových vozů, např. u kabelových vozů s délkou kabelu 1500 m po 135 kvar. Maximální výkon tlumivky by měl odpovídat maximální délce napájecího kabelu, což odpovídá přibližně 400 kvar výkonu. Při vřazování nebo vyřazování kabelového vozu je nutné přepojením odboček na dekompenzační tlumivce současně nastavit požadovanou velikost dekompenzace, podle aktuální délky napájecího kabelu. Podobně jako u instalace tlumivek na kabelové vozy je nutné v tomto případě upravit délky kabelů na jednotlivých kabelových vozech na jednotnou délku.

Dekompenzační tlumivka musí být připojena před měřením napětí a proudu v přívodním poli 6 kV, neboť zde jsou snímány hodnoty pro řízení skupinové kompenzace rypadla. Může být tedy umístěna na primární, nebo sekundární straně přívodního transformátoru 35/6 kV. To neplatí pro KU 800, kde měření pro řízení skupinové kompenzace je umístěno před transformátory 35/6 kV

Tlumivka je připojena pouze přes pojistky, sloužící k jistění tlumivky – není žádným jiným způsobem řízena.

Výhody:

- jednoduchost zapojení
- snížení počtu tlumivek
- vyloučení přechodných dějů při spínání a odpojování tlumivek

Nevýhody:

- navyšuje potřebu kompenzačního výkonu kondenzátorů
- trvalé připojené tlumivky zatěžují vedení ztrátami na tlumivce
- tlumivka na napěťové hladině 35 kV nebo 6 kV (vn)
- při připojení za přívodním transformátorem snižuje činný výkon, který je možné přes přívodní transformátor přenášet
- při vypnutí přívodního vypínače stroje není kabelové vedení přívodu kompenzováno
- lidský činitel (spolehlivost obsluhy)
- cena řešení

4.2.2.2 II. varianta - dekompenzační tlumivka spolupracující s kompenzační stroje

Na rypadla lze také instalovat dekompenzační tlumivku s výkonem rovnajícím se součtu předpokládaného možného počtu kabelových vozů v napájecí trase. Rozdíl výkonu, při použití nižšího počtu kabelových vozů, lze upravit použitím stávající skupinové kompenzace instalované na rypadlech. Výhodou tohoto řešení je, že místo několika kompenzačních tlumivek rozmístěných na kabelových vozech lze použít jedinou tlumivku na nižší napěťové hladině (6 kV, 0,5 kV nebo 0,4 kV).

Dekompenzační tlumivka je přidána ke skupinové kompenzaci stroje (na stejné napěťové hladině).

K řízení je možné využít stávajícího řídicího systému používaného na strojích, případně programovatelného relé.

Po snížení odběru stroje pod stanovenou hodnotu dojde k sepnutí dekompenzační tlumivky a současně k vyřazení řízení skupinové kompenzace od regulátoru účinníku. Podle předem nastavené délky přívodního kabelu jsou sepnuty stupně skupinové kompenzace stroje a tím je nastavena požadovaná hodnota dekompenzačního výkonu.

Výhody:

- využití stávajících kompenzačních prostředků
- tlumivka na hladině nízkého napětí
- snížení počtu tlumivek
- možnost regulace výkonu dekompenzace
- nesnižuje činný výkon, který je možné přenášet přes přívodní transformátor stroje
- nenavyšuje potřebu kompenzačního výkonu kondenzátorů
- cena řešení

Nevýhody:

- při vypnutí přívodního vypínače stroje není kabelové vedení přívodu kompenzováno
- lidský činitel (spolehlivost obsluhy)

4.3 Centrální kompenzace v napájecích bodech DNT

Z měření víme, že kompenzovat je nutné pouze napájecí bod TR 3, ze kterého jsou napájeny napájecí linky velkostrojů na napěťové hladině 35 kV.

4.3.1.1 I. varianta - dekompenzační tlumivka spolupracující s centrální kompenzací

Podobně jako na velkostrojích lze k centrální kompenzaci doplnit dekompenzační tlumivku s výkonem rovnajícím se součtu předpokládaného maximálně možného jalového výkonu vyskytujícího se v distribuční soustavě. Podle výsledků měření (kap. 3.6) je určena hodnota tohoto výkonu na 1,63 Mvar. Rozdíl výkonu tlumivky a aktuálně požadovaného výkonu, by se upravoval použitím stávající centrální kompenzace, instalované na TR 3. Výhodou tohoto řešení je, že místo několika kompenzačních tlumivek rozmístěných na kabelových vozech, nebo rypadlech, je možné použít jedinou tlumivku na nižší napěťové hladině 6 kV.

Dekompenzační tlumivka by se připojila k centrální kompenzaci TR 3 (na stejné napěťové hladině) jako další stupeň stávající centrální kompenzace.

K řízení je možné využít stávajícího řídicího systému používaného pro řízení centrální kompenzace (regulátor účinníku).

Výhody:

- využití stávajících kompenzačních prostředků
- snížení počtu tlumivek
- možnost regulace výkonu dekompenzace
- nenavyšuje potřebu kompenzačního výkonu kondenzátorů
- cena řešení

Nevýhody:

- skoková regulace
- vznik přechodných dějů při spínání kondenzátorů

4.3.1.2 II. varianta – fázově řízená dekompenzační tlumivka

Centrální kompenzaci, umístěnou v napájecích bodech, můžeme doplnit o fázově řízenou dekompenzační tlumivku (zařízení TCR – FSC). Tato varianta je vhodná pro oba napájecí boby lokální distribuční sítě, protože nám dává možnost plynule doladovat stávající stupňovitě řízenou centrální kompenzaci.

V napájecím bodě TR 2 by výkon dekompenzační tlumivky měl činit 200 kvar, což je hodnota nejnižšího kompenzačního stupně centrální kompenzace.

V napájecím bodě TR 3 výkon dekompenzační tlumivky musí odpovídat zjištěnému celkovému potřebnému dekompenzačnímu výkonu 1,63 Mvaru.

Vzhledem k produkci harmonických vyššího řádu při fázovém spínání, je nutné použít dekompenzační tlumivku v zapojení do trojúhelníka, s vinutím rozděleným na dvě části.

Fázově řízenou dekompenzační tlumivku je možné opět přidat k stávající centrální kompenzaci v napájecích bodech na napětíové hladině 6 kV.

Ke spínání je nutné použít zařízení SVC (tyristory v antiparalelním zapojení) se závěrným napětím ve výši 10 kV. Použití polovodičových prvků na napětíové hladině 6 kV značně prodražuje celé zařízení.

K řízení je možné využít stávajícího řídicího systému používaného pro řízení centrální kompenzace (regulátor účinníku).

Výhody:

- využití stávajících kompenzačních prostředků
- snížení počtu tlumivek
- možnost plynulé regulace výkonu dekompenzace
- možnost doladění výkonu stupňovité regulace při kompenzaci induktivního jalového výkonu
- nenavyšuje potřebu kompenzačního výkonu kondenzátorů

Nevýhody:

- vznik přechodných dějů při spínání kondenzátorů
- cena řešení

5 Výběr optimální varianty dekompenzace, včetně jejího technického řešení

5.1 Kabelová vedení 6 kV

U kabelových rozvodů na napěťové hladině 6 kV jsou příspěvky kapacitní jalové energie poměrně nízké a větší investice do dekompenzace kabelových vedení se tudíž nevyplatí. Proto se ukazuje jako dostačující úprava velikosti kompenzační baterie distribučního transformátoru podle naměřených hodnot a odpojení kabelových vozů, které nejsou používány.

Doplnění dekompenzační tlumivky ke skupinové kompenzaci je možné při nákupu nových kompenzačních kiosků, kde bude počítáno s umístěním dekompenzační tlumivky o velikosti $Q_L = 50 \text{ kvar}$ a její výzbroje.

5.2 Kabelová vedení 35 kV

Jako technicky nejvýhodnější je řešení s rozmístěním dekompenzačních tlumivek na jednotlivé kabelové vozy 35 kV napájecích tras velkostrojů. Jalová energie se kompenzuje v místě její produkce, takže nedochází k zatěžování ostatních částí lokální distribuční soustavy. Není zde nutná regulace, není třeba řešit přechodné děje při spínání a nedochází ke zvyšování napětí na nezatíženém vedení.

V neprospěch tohoto řešení je skutečnost, že je nutné mít v záloze dostatečný výkon kondenzátorů, který při normálním provozu musí eliminovat dekompenzační výkon tlumivek, aby byli schopny za normálního provozu pokrýt spotřebu jalového výkonu induktivního charakteru. Dalším problémem je počet dekompenzačních tlumivek na napěťové hladině 35 kV (potřeba deseti až dvanácti tlumivek včetně jištění) a tedy i cena tohoto řešení.

U řešení, kdy dekompenzační tlumivka s odbočkami je umístěna na velkostroji, je sice snížen počet dekompenzačních tlumivek, ale platí zde, jako v předchozím případě, potřeba zálohy kapacitního výkonu. Navíc při použití této varianty je nutné počítat s prodloužením času potřebného k přepojení odboček a jistou neochotou pracovníků tuto činnost důsledně provádět.

Jako neoptimálnější se tedy jeví varianta, kdy umístíme dekompenzační tlumivku na velkostroj a řízením jejího připojení, ve spolupráci se skupinovou kompenzací velkostroje, nastavíme požadovanou velikost dekompenzačního výkonu.

U tohoto řešení není nutné mít zálohu kapacitního výkonu, po dobu normálního provozu dekompenzační tlumivka nezvyšuje ztráty svými činnými ztrátami a dekompenzační výkon nesnižuje výkon přírodního transformátoru velkostroje za normálního provozu stroje.

5.2.1 Technické řešení dekompenzační tlumivky umístěné na rypadle

Vzhledem k rozdílnosti elektroinstalace velkostrojů je nutné řešit dekompenzaci přívodního kabelu pro každý velkostroj samostatně. Pro ukázkou řešení jsme zvolili rypadlo SchRs 1550/109.

5.2.1.1 Připojení dekompenzační tlumivky

Dekompenzační tlumivka se připojí na přípojnice, do rozvaděče skupinové kompenzace přívodu velkostroje, umístěného na podvozku LU (viz příloha D2). Kompenzační rozvaděč skupinové kompenzace je připojen přes samostatný transformátor 6 / 0,525 kV, 630 kVA, a pojistky na přípojnice v rozvaděči R 2.2, společně s distribučním transformátorem 6 / 0,44 kV, 1000 kVA napájení podvozku LU. Schéma připojení transformátoru skupinové kompenzace přívodu je umístěno v příloze D1.

Vzhledem k tomu, že v rozvaděči skupinové kompenzace přívodu stroje není dostatek místa, umístí se dekompenzační tlumivka pod rozvodnou NN (pod rozvaděč skupinové kompenzace přívodu), kde je chráněna proti dešti a je zajištěno její dostatečné chlazení. Proti náhodnému dotyku musí být tato tlumivka opatřena zábranou.

Dekompenzační tlumivka bude spínána pomocí stykače 20 KM7, např. typem 100 G 550.22 od firmy Allan Bradley, umístěného v rozvaděči skupinové kompenzace. Jištění tlumivky bude zajištěno pojistkami 20 FU7 typu gG/gL.

5.2.1.2 Stanovení parametrů dekompenzační tlumivky

Zapojení tlumivky:

Vzhledem k používané izolované napěťové soustavě doporučuji zapojení do hvězdy s nevyvedeným uzlovým bodem, protože i při zemním spojení zůstane zachována velikost proudů protékajících tlumivkou a sníží se napětí na cívce tlumivky.

Provedení tlumivky:

Dekompenzační tlumivka se bude nacházet v prostředí, ve kterém je zvýšený výskyt vlhkosti a prašnosti. Navíc se nachází v omezeném prostoru v blízkosti kovových konstrukcí. Tlumivka by měla být v suchém provedení, se železným jádrem. Vinutí by mělo být zaléváno do epoxidové pryskyřice, aby bylo zamezeno pronikání vlhkosti do vinutí.

Výkon tlumivky:

Maximální dekompenzační výkon tlumivky je omezen velikostí transformátoru kompenzace a maximálním možným kapacitním výkonem skupinové kompenzace. Kapacitní výkon instalovaných kondenzátorových baterií (500 kvar) nám umožňuje připojit dekompenzační tlumivku s výkonem až 600 kvar, ale vzhledem k velikosti transformátoru je tento maximální výkon omezen na 500 kvar (při uvažování činných ztrát tlumivek a kondenzátorů). Podle výsledků měření, pro naše potřeby kompenzace přívodního kabelu 35 kV, vyhovuje velikost dekompenzační tlumivky v rozsahu $Q_L = 350 - 400$ kvar. Volíme kompenzační výkon $Q_L = 400$ kvar.

Uvedený výkon je třífázový.

Napětí tlumivky:

Napětí na dekompenzační tlumivce odpovídá napětí skupinové kompenzace přívodu velkostroje tj. $U_s = 3 \times 500 \text{ V}$. Při zapojení tlumivky do hvězdy je napětí na jedné fázi

$$U_f = \frac{U_s}{\sqrt{3}} = \frac{500}{\sqrt{3}} = 288,7 \text{ V}$$

Proud tlumivky:

Jalový proud protékající tlumivkou odpovídá potřebnému jalovému výkonu. Proud protékající jednou fází tlumivky s výkonem $Q_L = 400 \text{ kvar}$ je:

$$I_L = \frac{\sqrt{3} \cdot Q_L}{3 \cdot U_s} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 10^3}{3 \cdot 500} = 461,9 \text{ A}$$

Reaktanční proud protékající jednou fází tlumivky s výkonem $Q_L = 400 \text{ kvar}$ je $I_L = 461,9 \text{ A}$.

Reaktance tlumivky: [16]

Abychom určili reaktanci dekompenzační tlumivky, vypočteme jmenovitou reaktanci, odpovídající potřebnému jalovému výkonu . . .

$$X_{Ln} = \left(\frac{U_s}{\sqrt{3}} \right)^2 \cdot \frac{3}{Q_L} = \frac{U_s^2}{Q_L} = \frac{500^2}{400 \cdot 10^3} = 0,625 \text{ } \Omega$$

. . . a dále musíme určit reaktanci transformátorů 01 TM1 na přívodu rypadla . . .

$$X_{T1} = \frac{u_{k1}}{100} \cdot \frac{U_{nT1}^2}{S_{nT1}} = \frac{6,88}{100} \cdot \frac{(35 \cdot 10^3)^2}{5 \cdot 10^6} = 16,856 \text{ } \Omega$$

. . . kterou přepočteme na napěťovou hladinu, na které se nachází dekompenzační tlumivka . . .

$$X_{T1}' = X_{T1} \cdot \frac{U_L}{U_{T1}} = 16,856 \cdot \frac{500}{35 \cdot 10^3} = 0,2408 \text{ } \Omega$$

. . . a reaktanci kompenzačního transformátoru skupinové kompenzace 03 TM2 . . .

$$X_{T2} = \frac{u_{k2}}{100} \cdot \frac{U_{nT2}^2}{S_{nT2}} = \frac{5,99}{100} \cdot \frac{500^2}{630 \cdot 10^3} = 0,02377 \text{ } \Omega$$

. . . výsledná reaktance tlumivky je . . .

$$X_L = X_{Ln} - X_{T1}' - X_{T2} = 0,625 - 0,2408 - 0,02377 = 0,36 \text{ } \Omega$$

Indukčnost tlumivky:

Indukčnost požadované tlumivky určíme z její reaktance:

$$X_L = \omega \cdot L \Rightarrow L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{0,36}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 1,15 \text{ mH}$$

Pro výkon $Q_L = 400 \text{ kvar}$ je požadovaná indukčnost tlumivky v zapojení do hvězdy $L = 3 \times 1,15 \text{ mH}$

5.2.1.3 Řízení dekompenzační tlumivky

Za běžného provozu je skupinová centrální kompenzace řízena autonomně regulátorem jalového výkonu, umístěným na dveřích rozvaděče kompenzace. Hodnoty napětí a proudu, potřebné pro regulaci, jsou snímány v přívodním poli 6 kV (R 2.1), na přívodu ze sekundární strany přívodního transformátoru 35/6 kV, 5 MVA, s označením 01 TM1 (viz příloha D1). Protože velikost přívodního transformátoru je výkonově nedostačující potřebám velkostroje, je požadovaný účinník skupinové kompenzace přívodu nastaven na $\cos \varphi = 1$, abychom přes transformátor dostali co největší činný výkon. Potřebný jalový výkon je potom dodáván individuální kompenzací pohonů dopravní linky a skupinovou kompenzací.

Vzhledem k tomu, že regulátor jalového výkonu by se snažil, po připojení dekompenzační tlumivky, srovnat účinník na přednastavenou hodnotu, je nutné ho při dekompenzaci vyřadit z činnosti.

Nastavení výkonu dekompenzační tlumivky je možné provádět autonomně, například použitím programovatelného relé, nebo za pomoci řídicího systému instalovaného na stroji - ***zvolíme systém s použitím programovatelného relé***, aby systém byl schopen funkce i při poruše řídicího systému stroje.

Volba programovatelného relé :

Pro naše potřeby plně vyhovuje programovatelné relé firmy SIEMENS - LOGO! 230 RCL. Relé je vybaveno dvanácti vstupy 230V a osmi releovými výstupy 230V /10A .

Zapojení programovatelného relé (příloha D3):

Programovatelné relé se vřadí mezi výstupy regulátoru jalového výkonu (svorka 15-20 regulátoru) a pomocná relé (svorka A1 relé 20 KA1 - 6), ovládající jednotlivé stupně kompenzace (stupeň 1-6). Výstupy regulátoru jalového výkonu se připojí na vstupní svorky I-5 až I-10, pomocná relé se připojí na výstupy Q-1 až Q-6 programovatelného relé.

Pro spínání dekompenzační tlumivky použijeme výstup Q-7 a přidáme pomocné ovládací relé 20 KA7. Zpětná hláška o sepnutí stykače dekompenzační tlumivky je připojena na vstup I-12 programovatelného relé.

Pro spínání ladícího stupně dekompenzace použijeme výstup Q-8 a přidáme pomocné ovládací relé 20 KA8.

Programovatelné relé je ovládáno signálem z automatu řízení velkostroje, připojeným na vstup I-1. Má-li signál logickou hodnotu „1“ je povoleno řízení regulátorem jalového výkonu. Při přechodu signálu do logické „0“ dojde k vypnutí všech kompenzačních stupňů a je zamezeno řízení regulátorem jalového výkonu.

Na vstupy I-2, I-3, I-4 a I-11 jsou připojeny přepínače 20 SA1-4, které umístíme na dveře rozvaděče skupinové kompenzace přívodu. Přepínače 20 SA1-3 představují konkrétní kabelový vůz 35 kV (kabelový vůz č. 1-3). Přepínač 20 SA4 slouží k navolení maximálního výkonu dekompenzace (při navolení jsou vypnuty všechny kompenzační stupně, včetně ladícího).

Napájení programovatelného relé se připojí paralelně k napájecím svorkám regulátoru jalového výkonu (zálohované napětí z řídicího systému).

Funkce programovatelného relé :

- 1) Po příjmu signálu, o vypnutí všech pohonů dopravní linky stroje, od řídicího systému (**I-1 = 1→0**), vyřadí z funkce regulátor jalového výkonu, vypne všechny kompenzační stupně (**Q-1 až Q-6 = 1→0**) a v čase $t = 30$ s, po příjmu signálu z řídicího systému, sepne dekompenzační tlumivku (**Q-7 = 0→1**).
- 2) Po příjmu signálu o sepnutí dekompenzační tlumivky (**I-12 = 0→1**), podle navoleného počtu kabelových vozů přepínači 20 SA1-3 na dveřích kompenzace (vstupy **I-2, I-3 a I-4**) sepne s časovými prodlevami $t = 0,5$ s postupně příslušný počet kompenzačních stupňů skupinové kompenzace (**Q-1 až Q-8**), odpovídající počtu kabelových vozů (čím více je kabelových vozů v napájecí trase tím méně stupňů je nutné sepnout)
- 3) Po příjmu signálu (**I-1 = 0→1**), o zapnutí pohonů dopravní linky s celkovým výkonem nad 500 kW, vypne dekompenzační tlumivku (**Q-7 = 1→0**) a všechny kompenzační stupně skupinové kompenzace (**Q-1 až Q-8 = 1→0**). Po uplynutí času $t = 30$ s, po příjmu signálu z řídicího systému, vřadí regulátor jalového výkonu opět do funkce.

Ovládání dekompenzace: (příloha D4)

Ovládání dekompenzace funguje automaticky na základě signálu od řídicího systému velkostroje, signalizujícího odstavení dopravní linky velkostroje.

Velikost dekompenzačního výkonu je upravena automaticky, na základě navoleného počtu kabelových vozů přepínači 20 SA1-3 na dveřích kompenzace (vstupy **I-2, I-3 a I-4**). Každému ze vstupů přísluší konkrétní kabelový vůz. Po vřazení, případně vyřazení, kabelového vozu, musíme přepnout příslušný přepínač na dveřích kompenzace a podle aktuálního stavu přepínačů programovatelné relé nastaví počet sepnutých kompenzačních stupňů. Není-li navolen žádný kabelový vůz, je využíván celý výkon dekompenzační tlumivky.

Není-li navolen žádný z přepínačů 20 SA1-3 (v napájecí lince se nenachází žádný kabelový vůz), programovatelné relé nedovolí sepnutí dekompenzační tlumivky. Kapacitní výkon kabelu 35 kV instalovaného na stroji je kompenzován induktivním odběrem rypadla, který je odebíráán v klidu stroje (viz tab. 3.12 a 3.13).

Při navolení všech kabelových vozů přepínači 20 SA1-3, je možné přepínačem 20 SA4, na dveřích kompenzace, navolit maximální dekompenzační výkon tlumivky (jsou vyřazeny z činnosti všechny kompenzační stupně, včetně ladícího).

Nastavení sepnutí kapacitních stupňů :

Kompenzační stupně skupinové kompenzace přívodu jsou zapojeny v poměru 1:1:2:2:2:2. Jednotlivé kompenzační stupně jsou chráněny tlumivkou. Abychom mohli správně nastavit počet sepnutých kompenzačních stupňů, při naladění dekompenzačního výkonu, musíme znát skutečný

jalový výkon jednoho kompenzačního stupně. Jalový výkon vypočteme ze známých hodnot napětí $U_s = 500V$, kapacity $C = 3 \times 78,9 \mu F$ a indukčnosti ochranné tlumivky $L = 1,5 mH$ (viz silové schéma skupinové kompenzace přívodu v příloze D2).

Uvedenou kapacitu si musíme přepočítat ze zapojení do trojúhelníka na zapojení do hvězdy:

$$\frac{1}{C_a} = \frac{\frac{1}{C_{ab}} \cdot \frac{1}{C_{ac}}}{\frac{1}{C_{ab}} + \frac{1}{C_{bc}} + \frac{1}{C_{ac}}} \Rightarrow C_a = \frac{\frac{1}{C_{ab}} + \frac{1}{C_{bc}} + \frac{1}{C_{ac}}}{\frac{1}{C_{ab}} \cdot \frac{1}{C_{ac}}} = \frac{C_{ab} \cdot C_{ac} (C_{bc} \cdot C_{ac} + C_{ab} \cdot C_{ac} + C_{ab} \cdot C_{bc})}{C_{ab} \cdot C_{bc} \cdot C_{ac}}$$

$$C_a = \frac{78,9^2 \cdot 3 \cdot 78,9^2}{78,9^3} = 236,7 \mu F$$

Jeden kompenzační stupeň obsahuje dva paralelně zapojené kondenzátory, takže výsledná kapacita je:

$$C = C_a + C_a = 236,7 + 236,7 = 473,4 \mu F$$

Nyní můžeme vypočítat **rezonanční frekvenci** kompenzačního stupně . . .

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 473,4 \cdot 10^{-6}}} = 188,87 \text{ Hz}$$

. . . a **činitel zatlumení** [8]. . .

$$n_r = \frac{f_r}{f_n} = \frac{188,87}{50} = 3,78$$

$$p = \frac{1}{n_r^2} \cdot 100 = \frac{1}{3,78^2} = 7 \%$$

Reaktanci kondenzátoru vypočteme ze jmenovitého napětí U_{Cn} (hodnota udávaná výrobcem) a kompenzačního výkonu Q_{Cn} (dvojici kondenzátorů odpovídá $2 \times 25 = 50 \text{ kvar}$) odpovídajícího tomuto napětí: [8]

$$X_C = \frac{U_{Cn}^2}{Q_{Cn}} = \frac{580^2}{50 \cdot 10^3} = 6,728 \Omega$$

. . . a **reaktanci kompenzačního členu** (kondenzátor + tlumivka) [8] . . .

$$X_{LC} = \left(1 - \frac{p}{100}\right) \cdot X_C = \left(1 - \frac{7}{100}\right) \cdot 6,728 = 6,256 \Omega$$

Při provozu kondenzátoru na nižším napětí, než je zadáno výrobcem ($U_n < U_{Cn}$), případně jiném kmitočtu je nutno přepočítat výkon kompenzačního kondenzátoru: [8]

$$Q_2 = Q_1 \cdot \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 \cdot \frac{f_2}{f_1} \quad [\text{var; var, V, V, Hz, Hz}]$$

... pro **skutečný kompenzační výkon kompenzačního stupně** platí vztah: [8]

$$Q_{LC} = \frac{U_n^2}{X_{LC}} = \frac{U_n^2}{X_C \cdot \left(1 - \frac{p}{100} \right)} = \left(\frac{U_n}{U_{Cn}} \right)^2 \cdot \frac{Q_{Cn}}{1 - \frac{p}{100}} = \left(\frac{500}{580} \right)^2 \cdot \frac{2 \cdot 25 \cdot 10^3}{1 - \frac{7}{100}} = \underline{\underline{39,955 \text{ kvar}}}$$

Abychom byli schopni přesněji nastavit dekompenzační výkon, je do rozvaděče skupinové kompenzace přívodu doplněn další, **ladící stupeň** (kompenzační stupeň), s polovičním kapacitním výkonem nejnižšího stupně skupinové kompenzace. Tento ladící stupeň je automaticky řízen programovatelným relé (výstup Q-8) a je využíván pouze pro účely dekompenzace. Použijeme-li stejný typ kondenzátoru, jako u skupinové kompenzace, je třeba dopočítat indukčnost ochranné tlumivky. Při návrhu uvažujeme jalový výkon $Q_{Cn} = 25 \text{ kvar}$, stejnou rezonanční frekvenci $f_r = 189 \text{ Hz}$ a stejný činitel tlumení $p = 7\%$, jako u ostatních stupňů skupinové kompenzace.

Ze vzorce pro výpočet rezonanční frekvence vypočteme velikost ochranné tlumivky ...

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}} \Rightarrow L = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f_r)^2 \cdot C} = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot 189)^2 \cdot 236,7 \cdot 10^{-6}} = 2,99 \cdot 10^{-3} \text{ H} \approx 3 \text{ mH}$$

Reaktance kondenzátoru je [8]. . .

$$X_C = \frac{U_{Cn}^2}{Q_{Cn}} = \frac{580^2}{25 \cdot 10^3} = 13,46 \Omega$$

... **reaktance kompenzačního členu** (kondenzátor + tlumivka) je [8] ...

$$X_{LC} = \left(1 - \frac{p}{100} \right) \cdot X_C = \left(1 - \frac{7}{100} \right) \cdot 13,456 = 12,51 \Omega$$

... a **skutečný kompenzační výkon ladícího stupně** je [8]. . .

$$Q_{LC} = \left(\frac{U_n}{U_{Cn}} \right)^2 \cdot \frac{Q_{Cn}}{1 - \frac{p}{100}} = \left(\frac{500}{580} \right)^2 \cdot \frac{25 \cdot 10^3}{1 - \frac{7}{100}} = \underline{\underline{19,98 \text{ kvar}}}$$

Nastavení požadovaného počtu kapacitních stupňů je provedeno podle tab. 5.1, tak aby výsledný výkon, stupňovitě řízené kompenzace, byl co nejbližší požadované hodnotě kapacitního výkonu. **Součtem kapacitního výkonu kompenzace a induktivního výkonu tlumivky** dojde k nastavení požadovaného dekompenzačního výkonu.

Tab. 5.1 Přesnost nastavení dekompenzačního výkonu

kabelové vozy vřazené do linky	požadovaný dekompenzační výkon (ind.) [kvar]	požadovaný kapacitní výkon [kvar]	sepnuty (de)kompenzační stupně	skutečný kapacitní výkon [kvar]	rozdíl [kvar]
-	0	0	-	0	0
1	84,6	315,4	Q7, Q6, Q5, Q4, Q3	319,67	4,27
2	100,5	229,5	Q8, Q7, Q6, Q5, Q4, Q2	299,69	0,19
3	136,8	263,2	Q8, Q7, Q6, Q5, Q4	259,73	-3,47
1+2	185,1	214,9	Q8, Q7, Q6, Q5, Q1	219,77	4,87
1+3	221,4	178,6	Q8, Q7, Q6, Q5,	179,81	1,21
2+3	237,3	162,7	Q7, Q6, Q4	159,83	-2,87
1+2+3	321,9	78,1	Q7, Q6	79,92	1,82
max	400	0	Q7	0	0

Jak můžeme vidět v tab. 5.1 pracuje nastavení dekompenzačního výkonu s určitou nepřesností, která činí maximálně 5 kvar.

5.2.1.4 Rozdíly v řešení na jednotlivých velkostrojích

Zapojení elektroinstalace na jednotlivých velkostrojích je značně rozdílné, tak např. zatímco na SchRs 1550/109 je přívodní distribuční transformátor dvouvinutový s výkonem 5 MVA, na SchRs 1320/110 je tento transformátor třívinutový s výkonem 6,3 MVA a na rypadle KU 800/20 je transformace z 35 kV provedena čtveřicí transformátorů s výkonem 1,6 MVA v paralelním zapojení. Skupinová kompenzace na SchRs 1550/109 sestává ze dvou částí – skupinové kompenzace přívodu rypadla (na napěťové hladině 500V IT) a skupinové kompenzace horní stavby (na napěťové hladině 400V TNC-S). Skupinová kompenzace na SchRs 1320/110 je umístěna pouze na horní stavbě (na napěťové hladině 6 kV IT). Skupinová kompenzace na KU 800/20 nahradila rotační kompenzátor na horní stavbě (na napěťové hladině 6 kV IT). Nejnižší stupeň skupinové kompenzace umístěné na napěťové hladině 6 kV má obvykle 200 kvar. Z těchto důvodů je nutné hledat řešení dekompenzace pro každé rypadlo samostatně, po hlubším studiu elektroinstalace konkrétního velkostroje.

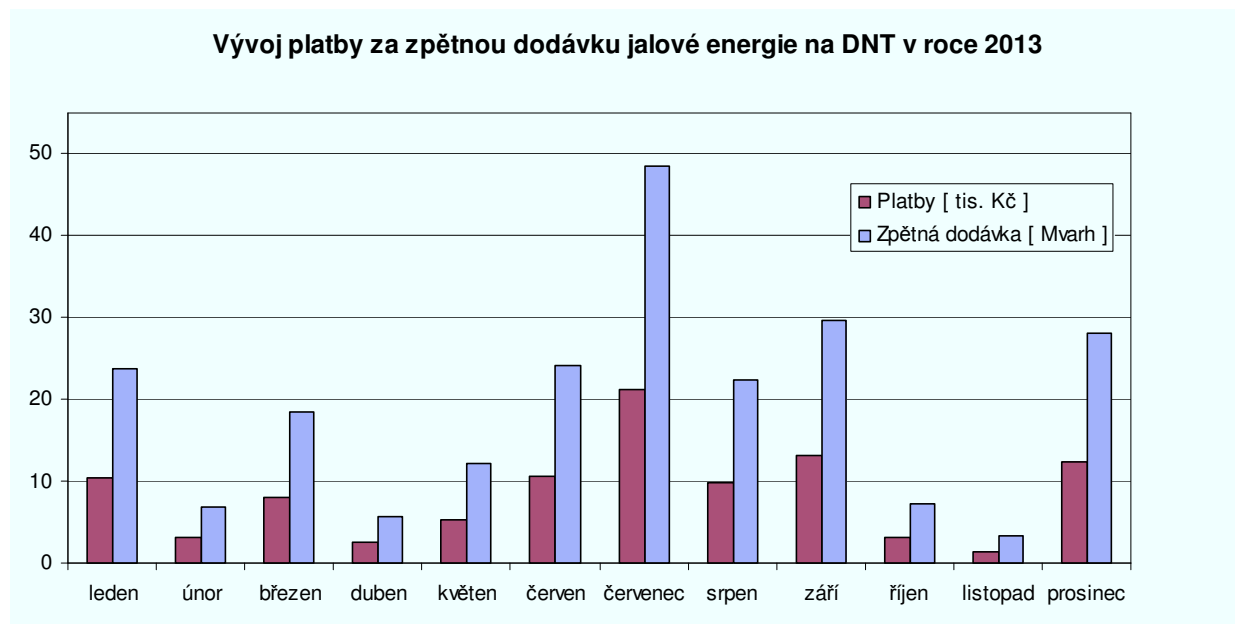
Dekompenzační tlumivka nemusí být nutně umístěna na napěťové hladině 6 kV, vždy by se však měla nacházet co nejbližše skupinové kompenzaci a co nejbližše přívodu velkostroje.

Dekompenzační výkon může být také nastavován více tlumivkami – několika vhodně spínanými dekompenzačními stupni.

Princip řízení dekompenzace je pro všechny velkostroje stejný, tj. vyřazení řízení skupinové kompenzace regulátorem jalového výkonu při odstavení rypadla a sepnutí dekompenzační tlumivky (případně tlumivek) a kondenzátorů skupinové kompenzace tak, aby dekompenzační výkon odpovídal délce připojeného napájecího kabelu 35 kV.

6 Technicko - ekonomické zhodnocení vybrané varianty dekompenzace

Zpětná dodávka jalové energie je v současné době postihována podle vyhlášky ERU 9/2012 platbou 440 Kč za jednu Mvarh. V roce 2013 činila zpětná dodávka jalové energie celkem **230,56 Mvarh**, za kterou DNT zaplatily částku ve výši **101 446, 84 Kč**. Vývoj zpětné dodávky jalové energie v průběhu roku 2013 je patrný z grafu na obr 6.1.



Obr. 6.1 Platby za jalovou energii v roce 2013

Z tohoto grafu je zřejmé, že k nejvyšším dodávkám dochází v letních měsících (příloha E1), což je způsobeno odstavováním uhelných provozů z důvodů pravidelných ročních revizí a v prosinci (příloha E3) z důvodu odstavení v době svátků (příloha E4). Nárůst zpětné dodávky jalové energie v lednu a březnu byl zapříčiněn technologickými odstávkami provozu skřývek z důvodu havárie.

Náklady spojené s instalací dekompenzační tlumivky na **SchRs 1550/109** jsou odhadovány na cca **550 tis. Kč**. Z toho samotná dekompenzační tlumivka činí cca 450 tis. Kč, stykač ovládání tlumivky cca 30 tis. Kč, ladící dekompenzační stupeň cca 20 tis. Kč a řízení prostřednictvím programovatelného relé cca 10 tis. Kč. Zbývající částka pokrývá práci spojenou s instalací a zprovozněním dekompenzačního zařízení.

Instalace dekompenzační tlumivky na **SchRs 1320/110** a **KU 800/20** jsou spojeny s vyššími náklady, vzhledem k tomu, že skupinová kompenzace se zde nachází na napěťové hladině 6 kV a instalační prvky výzbroje pro vn jsou dražší. Také je nutno vzít v úvahu, že nejnižší kompenzační stupeň skupinové kompenzace na těchto strojích má hodnotu 200 kvar, takže je nutné použít více ladících stupňů, abychom docílili přesnějšího vyvážení dekompenzace, případně rozdělit dekompenzační tlumivku na více stupňů například 2 x 25 kvar, 50 kvar, 100 kvar a 200 kvar, spínaných samostatně.

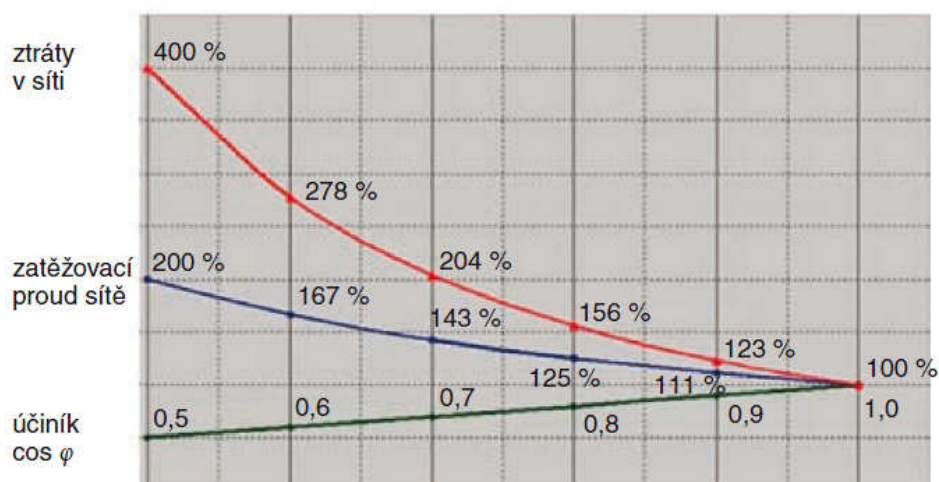
Náklady lze snížit vhodným umístěním dekompenzačních tlumivek na nižší napěťovou hladinu. Odhaduji že minimální náklady na dekompenzaci na těchto strojích vychází na cca **600 tis. Kč**.

Celkové náklady na dekompenzaci kabelových vedení 35 kV jsou tedy odhadovány na cca **1 750 000 Kč**. Doba návratnosti tedy je . . .

$$TN_p = \frac{IN}{CF} = \frac{1,75 \cdot 10^6}{101,447 \cdot 10^3} = 17,25 \text{ roku}$$

Předpokládaná návratnost je tedy přibližně 17 let, za předpokladu, že se v tomto období nezmění platby za zpětnou dodávku jalové energie, což je samozřejmě nepravděpodobné.

Na návratnost investice, do dekompenzace zpětné dodávky jalové energie, je ovšem nutné pohlížet ze širšího hlediska. Zmenšením rozptylu velikosti napětí na konci kabelového vedení, použitím dekompenzace, lze snížit namáhání dielektrika izolace napájecích kabelů, distribučních a přístrojových transformátorů a tím prodloužit jejich životnost. Použitím dekompenzace dojde také ke snížení rizika ferorezonančního jevu na přístrojových transformátorech napětí. Snížením poruchovosti vlivem přepětí, zapříčiněných překompenzováním, se navyšuje čas provozního využití technologie. A nakonec snížením přenosu jalové energie po vedení dojde ke zmenšení ztrát na vedení, čímž se také sníží odběr činné energie z napájecí soustavy.



Obr. 6.2 Vliv účinníku na ztráty v přenosové soustavě [15]

Jak lze vidět z obr. 6.2 při zhoršení účinníku na hodnotu $\cos \varphi = 0,5$ dojde k navýšení přenášeného proudu v přenosové soustavě na dvojnásobek, oproti proudu při $\cos \varphi = 1$ a k navýšení ztrát dokonce na čtyřnásobek [15]. To platí jak pro nevykompenzovanou tak i pro překompenzovanou přenosovou soustavu.

V neposlední řadě mají DNT povinnost, jako provozovatel lokální distribuční soustavy, ze které jsou napájeni další odběratelé, dodržovat kvalitu elektrické energie ve stanovených hodnotách dle ČSN EN 50 160, aby nedošlo k poškození zařízení těchto odběratelů.

Závěr

Cílem mé diplomové práce bylo navržení a posouzení možností dekompenzace kabelových rozvodů v lokální distribuční síti DNT. Kabelové rozvody jsou na povrchovém dole důležitým prvkem napájecích sítí technologie, které není možné nahradit jiným typem vedení. Celková délka těchto vedení se pohybuje okolo 240 km. Vzhledem k přenášeným výkonům se k napájení jednotlivých částí technologie používají kabely vn na napětové hladině 6 kV a 35 kV.

Za běžného provozu kabelová vedení přispívají svým kapacitním charakterem ke kompenzaci induktivního charakteru elektromotorů a distribučních transformátorů, které představují až 95 % všech spotřebičů v rámci technologie používané na DNT. Kapacitní charakter vedení se však začne projevovat jako zpětná dodávka jalové energie v napájecích bodech povrchového dolu po odstavení většího množství technologických celků, k čemuž dochází, především v době pravidelných revizí, při haváriích, při odstávkách během střídání směn a při odstávkách během svátků.

Abych určil velikost příspěvků a charakter jalové energie jednotlivých částí rozvodné sítě, byla provedena řada měření. Tato měření potvrdila předpoklady, že kabelová vedení na napětové hladině 35 kV, i přesto, že tvoří přibližně pouhých 6 % všech kabelových rozvodů, jsou nejvýznamnějším zdrojem kapacitní jalové energie. Oproti tomu příspěvky venkovních vedení 35 kV jsou zanedbatelné. Dále jsem zjistil, že zpětná dodávka jalové energie během odstávek se projevuje především v napájecím bodě TR 3 Málkov. V napájecím bodě TR 2 Tušimice je velikost zpětné dodávky jalové energie minimální a také méně pravděpodobná.

Pro volbu varianty řešení bylo zásadní rozhodnutí, zda volit centrální dekompenzaci v napájecích bodech, nebo volit decentralizovaný systém. Použití centralizovaného systému při použití zařízení TCR – FSC, by sice bylo schopné plně vyřešit problém zpětné dodávky jalové energie do napájecí sítě SČE, ale neřešila by dekompenzaci lokální distribuční soustavy na DNT. Decentralizovaný systém je sice náročnější na komplexní řešení, ale navíc řeší nevyžádané toky jalové energie v lokální distribuční síti. V lokální distribuční soustavě se nachází cca 25 odběratelů elektrické energie, kterým musí DNT, jako dodavatel elektrické energie, zajistit potřebnou kvalitu elektrické energie, vycházejících z ČSN EN 50 160. Z tohoto důvodu jsem zvolil decentralizovaný systém dekompenzace.

Pro řešení dekompenzace kabelových rozvodů na napětové hladině 6 kV, jsem navrhl kombinaci řešení upravujících velikost kondenzátoru kompenzace distribučního transformátoru a doplnění kompenzačního kiosku skupinové kompenzace distribučního bodu o dekompenzační stupeň.

Při výběru řešení dekompenzace kabelů na napětové hladině 35 kV jsem vzal v úvahu i umístění dekompenzačního zařízení. Ze zvažovaných možností dekompenzace jsem zvolil variantu, kdy dekompenzace je řešena na konci napájecího kabelu 35 kV, tedy na přívodu jednotlivých rypadel skřívkových provozů. Umístěním na konci napájecího kabelu, se sníží rozptyl velikosti napětí na přívodu rypadla při odstávce velkostroje. Dalším argumentem pro umístění dekompenzačního zařízení na konci kabelového vedení byla pro mne skutečnost, že přenos jalové energie se omezuje mezi zdroj jalové energie, tedy napájecí kabel 35 kV přívodu rypadla a spotřebič jalové energie, tedy

dekompensační zařízení umístěné na rypadle. Jalová energie tudíž nezatěžuje ostatní části lokální distribuční soustavy.

Navrhované řešení dekompenzace na SchRs 1550/109 využívá existující skupinovou kompenzaci přívodu stroje k nastavení požadovaného jalového výkonu podle aktuální délky napájecího kabelu rypadla. Využití stávající skupinové kompenzace významně snižuje náklady na řešení dekompenzace.

Vzhledem k rozdílnosti elektroinstalace jednotlivých rypadel nelze na rypadlech SchRs 1320/110 a KU 800/20 použít celé řešení navrhované pro SchRs 1550/109. U těchto rypadel je nutné hledat jiné vhodnější řešení skladby a umístění kompenzačních a dekompenzačních stupňů, protože nejnižší stupeň stávající skupinové kompenzace má jalový výkon 200 kvar, takže nelze docílit přesnějšího naladění dekompenzace.

Z určených nákladů na řešení dekompenzace vychází návratnost investice cca za 17 let. Do této návratnosti však nejsou zahrnuty aspekty jako: navýšení plateb v příštích letech za dodávky jalové energie kapacitního charakteru, navýšení životnosti napájecích kabelů, navýšení času provozního využití technologie, nebo snížení ztrát vlivem přenosu jalové energie v lokální distribuční soustavě.

Seznam použité literatury

Monografie

- [1] ACHA, Enrique. *Power electronic control in electrical systems*. Newnes, 2002, xii, 443 p. ISBN 07-506-5126-1.
- [2] BOHEMIAPLAN S.R.O. *Kompenzace účinníku na ZSML a ZUL DNT, a.s.: Náhrada rotačních kompenzátorů*. 1. vyd. Plzeň, 2001. BP 1694-T-05551.
- [3] EGE S.R.O. *Systém kompenzace fázové napěťové nesymetrie sítě 35kV na DNT*. 1. vyd. České Budějovice, 2008.
- [4] ELCOM A.S. *Měření výkonové bilance a harmonických: analýza stavu kompenzačních prostředků na DNT*. 1. vyd. Ostrava, 2002. číslo dokumentu: EOPM02010.
- [5] GURECKÝ, Jiří. *Elektroenergetika: návody do cvičení*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2000, 69 s. ISBN 80-707-8758-9.
- [6] HEŘMAN, Josef, et al. *Příručka silnoproudé elektrotechniky*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1984, 1026 s. edice 04-502-84, 05/32.
- [7] KIJONKA, Jaromír. *Teorie obvodů II*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007, 1 CD-R. ISBN 978-80-248-1489-6.
- [8] KORENC, Vladimír. *Kompenzace jalového výkonu v praxi*. 1. vyd. Praha: IN-EL, 1999, 127 s. ISBN 80-862-3007-4.
- [9] MAYER, Daniel. *Elektrodynamika v energetice*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 278 s. ISBN 80-730-0164-0.
- [10] PRVNÍ ELEKTRO A.S. *Kompenzace TR35: 1400 kvar/6 kV*. 1. vyd. Chomutov, 2011. identifikační číslo: 472-0303S/EAA101.
- [11] SPD 31-1-12. *Elektrická zařízení uhelných lomů a úpraven: Navrhování elektroenergetických rozvodných zařízení v uhelných lomech*. 1. vyd. Teplice: Báňské projekty Teplice a.s., 2010.
- [12] TLUSTÝ, Josef, Jan KYNCL, Ladislav MUSIL, Jan ŠPETLÍK, Jan ŠVEC, Petr HAMOUZ, Zdeněk MÜLLER a Miroslav MÜLLER. *Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 2011, 255s. ISBN 978-80-01-04940-2.

- [13] WIMMER, Bohumil. *Kompenzace jalové energie na povrchovém lomu*. Ostrava, 2012. Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Krejčí, Ph.D.
- [14] ŽÁČEK, Jaroslav. Účinník v teorii a praxi. *Elektro*. 2004, roč. 14, č. 12, s. 3.

Elektronické zdroje

- [15] KOŠŤÁL, Josef. Kompenzace elektrického jalového výkonu. *Elektro* [online]. 2009, č. 3, s. 3 [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=38682
- [16] *MODELLING AND SIMULATION OF STATIC VAR COMPENSATOR (SVC)* [online]. Galati: Universita of Galati, 2008 [cit. 2014-04-12]. ISSN 1221-454X. Dostupné z: http://www.academia.edu/3411375/Modelling_and_Simulation_of_Static_Var_Compensator_SVC_in_Power_System_Studies_by_MATLAB
- [17] TYRBACH, Jaromír. Ferrantiho jev, vlnová impedance a přirozený výkon vedení. SPŠ ÚSTÍ NAD LABEM. *Stránky pro studenty oboru elektrotechnika* [online]. [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: http://web.telecom.cz/tyrbach/Ferrantiho_jev.pdf
- [18] 6-CHCU. DRAKA. *Draka Prysmian Group: katalog produktů* [online]. Velké Meziříčí, 2012, 28.04.2012 [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <http://web.draka.cz/cs/vyrobky-a-sluzby/katalog-produktu/pryzove-kabely/6-chcu->
- [19] 35-CHVU. DRAKA. *Draka Prysmian Group: katalog produktů* [online]. Velké Meziříčí, 2012, 28.04.2012 [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <http://web.draka.cz/cs/vyrobky-a-sluzby/katalog-produktu/pryzove-kabely/35-chvu->

Seznam obrázků

Obr. 1.1	<i>Blokové schéma elektrizační soustavy</i>
Obr. 1.2	<i>Základní druhy rozvodných sítí</i>
Obr. 1.3	<i>Obecný model jednofázového vedení</i>
Obr. 1.4	<i>Odvození rovnic homogenního vedení</i>
Obr. 1.5	<i>Model jednofázového vedení jako T článek pro výpočet Ferrantiho jevu</i>
Obr. 1.6	<i>Fázorový diagram jednofázového vedení ve stavu Ferrantiho jevu</i>
Obr. 1.7	<i>Přirozený výkon vedení</i>
Obr. 1.8	<i>Jednofázový systém se sinusovými průběhy</i>
Obr. 1.9	<i>Jednofázový systém s obecně periodickými průběhy</i>
Obr. 1.10	<i>Vztah mezi výkony</i>
Obr. 1.11	<i>Přenosová linka</i>
Obr. 1.12	<i>Fázorový diagram vedení</i>
Obr. 1.13	<i>Přenosová linka s nenulovým odporem</i>
Obr. 1.14	<i>Fázorový diagram vedení s nenulovým odporem</i>
Obr. 1.15	<i>Střídavá síť s paralelním kondenzátorem</i>
Obr. 1.16	<i>Střídavá síť se sériovým kondenzátorem</i>
Obr. 1.17	<i>Paralelní vstřikování proudu</i>
Obr. 1.18	<i>Možnosti sériového vstřikování</i>
Obr. 1.19	<i>Úbytek napětí v místě spotřeby</i>
Obr. 1.20	<i>Systémová křivka napětí</i>
Obr. 1.21	<i>Detail systémové křivky napětí</i>
Obr. 1.22	<i>Závislost napětí na zatížení</i>
Obr. 1.23	<i>Kompenzace napětí příčnými prvky</i>
Obr. 2.1	<i>Schéma páteřní rozvodné sítě DNT</i>
Obr. 2.2	<i>Schéma zapojení TR2</i>
Obr. 2.3	<i>Schéma zapojení TR 3</i>
Obr. 2.4	<i>Přesuvná distribuční trafostanice TSN 66, 69</i>
Obr. 2.5	<i>Kabelový vůz 35 kV s kabelem délky 1200 m</i>
Obr. 2.6	<i>Kabel 6 CHCU</i>
Obr. 2.7	<i>Kabel 35 CHVU</i>
Obr. 3.1	<i>Detail průběhu jalového výkonu linky V 309 během měření</i>
Obr. 3.2	<i>Detail průběhu jalového výkonu linky V 409 během měření</i>
Obr. 3.3	<i>Detail průběhu jalového výkonu linky V 413 během měření</i>
Obr. 3.4	<i>Detail průběhu jalového výkonu linky V 307 během měření</i>
Obr. 3.5	<i>Detail průběhu jalového výkonu linky V 308 během měření</i>
Obr. 3.6	<i>Část průběhu výkonů napájecí linky V 937 (TR II) při vypnutí technologie</i>
Obr. 3.7	<i>Průběhy výkonů napájecí linky V 940 (TR III) při vypnutí technologie</i>
Obr. 6.1	<i>Platby za jalovou energii v roce 2013</i>
Obr. 6.2	<i>Vliv účinníku na ztráty v přenosové soustavě</i>

Seznam tabulek

Tab. 2.1	<i>Parametry kabelů 6-CHCU</i>
Tab. 2.2	<i>Parametry kabelů 35-CHVU</i>
Tab. 3.1	<i>Hodnoty jalového výkonu určené z měření linky V 309</i>
Tab. 3.2	<i>Hodnoty jalového výkonu technologických zařízení připojených na lince V 309</i>
Tab. 3.3	<i>Hodnoty jalového výkonu určené z měření linky V 409</i>
Tab. 3.4	<i>Hodnoty jalového výkonu technologických zařízení připojených na lince V 409</i>
Tab. 3.5	<i>Hodnoty jalového výkonu určené z měření linky V 413</i>
Tab. 3.6	<i>Hodnoty jalového výkonu technologických zařízení připojených na lince V 413</i>
Tab. 3.7	<i>Hodnoty jalového výkonu určené z měření linky V 307</i>
Tab. 3.8	<i>Hodnoty jalového výkonu technologických zařízení připojených na lince V 307</i>
Tab. 3.9	<i>Hodnoty jalového výkonu určené z měření linky V 308</i>
Tab. 3.10	<i>Hodnoty jalového výkonu technologických zařízení připojených na lince V 308</i>
Tab. 3.11	<i>Hodnoty výkonů technologických zařízení provozu skrývek</i>
Tab. 3.12	<i>Hodnoty výkonů velkostrojů na provozu skrývek (bez zátěže)</i>
Tab. 3.13	<i>Hodnoty výkonů kabelových vozů 35 kV na provozu skrývek</i>
Tab. 5.1	<i>Přesnost nastavení dekompenzačního výkonu</i>

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Dekompenzace lokální distribuční sítě DNT

Přílohy diplomové práce

Seznam příloh

- A 1** Seznam distribučních bodů lokální distribuční sítě DNT
- A 2** Přesuvný kompenzační kiosek
- A 3** Skupinová kompenzace TR 35
- A 4** Skupinová kompenzace ÚDUT I a II
- A 5** Seznam velkostí na DNT
- A 6** Seznam poháněcích stanic v provozu SKRÝVKA (těžba nadložních zemin)
- A 7** Seznam poháněcích stanic v provozu LOM
- A 8** Seznam poháněcích stanic v provozu ÚDUT
- A 9** Seznam pomocných zařízení přepravy
- A 10** Čerpací stanice včetně napájecího kiosku

- B 1** Schéma zapojení přesuvné distribuční stanice

- C 1** Měření na vývodu V309
- C 2** Měření na vývodu V409
- C 3** Měření na vývodu V413
- C 4** Měření na vývodu V307
- C 5** Měření na vývodu V308
- C 6** Měření napájecího bodu TR 2

- D 1** Silové schéma připojení transformátoru skupinové kompenzace přívodu na SchRs 1550/109
- D 2** Schéma návrhu silového zapojení skupinové kompenzace
- D 3** Schéma zapojení programovatelného relé do ovládání skupinové kompenzace
- D 4** Algoritmus programovatelného relé pro ovládání (de)kompenzace
- D 5** Obrazová příloha kompenzace přívodu na SchRs 1550/109

- E 1** Měření SČE – měsíční průběhy výkonů za měsíc červenec 2013
- E 2** Měření SČE – průběhy výkonů ve dnech 5 - 8.7 2013
- E 3** Měření SČE – měsíční průběhy výkonů za měsíc prosinec 2013
- E 4** Měření SČE – průběhy výkonů ve dnech 24 - 31.12 2013

Příloha A1 Seznam distribučních bodů lokální distribuční sítě DNT

z rozvodny	úsek	označení distribuční stanice	výkon transformátoru	typ distribuční stanice	označení komp. kiosku	typ komp. kiosku
TR 2	S 1-3	TSN 63	6,3 MVA	přesuvná		
		TSN 60	6,3 MVA	přesuvná		
	Lom	DT 58	6,3 MVA	přesuvná	KK-003	KK6-1400/3
		DT 73	6,3 MVA	přesuvná	KK-004	KK6-1400/3
		TSN 72	6,3 MVA	přesuvná	KK-006	KK6-1400/3
		TSN 47	6,3 MVA	přesuvná	KK-005	KK6-1400/3
		DT 50	6,3 MVA	přesuvná	KK-001	KK6-1400/3
		DT 44	6,3 MVA	přesuvná		
	homoskládka	DT 35	10 MVA	přesuvná	KK-008	KK6-1400/3
	skládka odpadů	TSN 56	6,3 MVA	přesuvná		
	ÚDUT	TR 35	2 x 6,3 MVA	stálá		2x KRV6-1400/3
		TR 21	4 x 630 kVA + 2 x 1 MVA	stálá		
	přednádraží Březno	vlečka	100 kVA	stožárová		
	jídelna Tušimice		2 x 630 kVA	stálá		
	měnirny	EPOČ 1	3540 kVA	stálá		
EPOČ 2		3540 kVA				
EPRU 1		3540 kVA	stálá			
EPRU 2		3540 kVA				
TR 2 + TR 3	Ekometal	ext. odběr	630 kVA	stožárová		
	WAP	ext. odběr	400 kVA	stožárová		
	hradlo 2	vlečka	100 kVA	stožárová		
	hradlo 3	vlečka	100 kVA	stožárová		
	motokros	ext. odběr	100 kVA	stožárová		
	Weber	ext. odběr	50 kVA	stožárová		
	TR 3	S 1-3	DT 51	6,3 MVA	přesuvná	
DT 52			6,3 MVA	přesuvná		
S 2		TSN 62	6,3 MVA	přesuvná	KK-017	KRV6-1200/3
OČV		TSN 61	6,3 MVA	přesuvná		
		TSN 54	6,3 MVA	přesuvná		
		TSN 53	6,3 MVA	přesuvná		
zemník Krbice			100 kVA	stožárová		
koupelny Březno		630 kVA	stožárová			
TR 4	S 1-1	DT 65	6,3 MVA	přesuvná		
		DT 74	6,3 MVA	přesuvná	KK-002	KK6-1400/3
		TSN 69	6,3 MVA	přesuvná	KK-007	KK6-1400/3
		TSN 66	6,3 MVA	přesuvná	KK-018	KRV6-1200/3
	S 2	TSN 59	6,3 MVA	přesuvná	KK-016	KK6-1400/3
		DT 55	6,3 MVA	přesuvná	KK-015	KK6-1400/3
	Lom	DT 67	6,3 MVA	přesuvná		
		DT 71	6,3 MVA	přesuvná		
	montážní místo	TSN 57	6,3 MVA	přesuvná		
	nádrž Březno jih		160 kVA	stožárová		
	čistírna Březno	ČDV	1000 kVA	přesuvná		
	plac S 2		400 kVA	stálá		
	plac S 3		100 kVA	stálá		

Příloha A2 Přesuvný kompenzační kiosek



Obr. A 2.1 Kompenzační kiosek přesuvné distribuční trafostanice DT 74



Obr. A 2.2 2. a 3. stupeň kompenzačního kiosku

Příloha A3 Skupinová kompenzace TR 35



Obr. A 3. 1. Kompenzační rozvaděče 2 x 1400 kvar na TR35



Obr. A 3.2 3. stupeň kompenzačního rozvaděče na TR35 - 2 x 400 kvar



Obr. A 4.1 Kompenzační rozvaděč na ÚDUT 2 - 225 kvar

Příloha A5 Seznam velkstrojů na DNT

úsek	velkstroj	napětí přívodu [kV]	instalovaný výkon [kW]	výkon dopravní linky [kW]	individuální kompenzace [kvar]	skupinová kompenzace [kvar]
S 1-1	SchRs 1550/30x4	35	4868	3360	1100	1150
	ZPD 6800.1	6	2500	1500	740	322
S 2	SchRs 1320/30x4	35	6593	4339	700	900
	ZP 5500/4	6	2500	1500	300	140
S 1-3	KU 800/20	35	7700	4340	400	4200
	ZPDH 6300/1	6	2500	1420	800	
L - OPF	KU 309	6	1000	898	7	392
	KU 322	6	1000	898	7	560
L - HPF	K 800/N1	6	900	760,5		450
	K 800/N2	6	900	760,5	16	256
	KU 327	6	1000	898	10	528
	KU 329	6	1000	898	10	528
	ZP 3500/8	6	750	630		182
ÚDUT	ZNKK 20/40	6	800	320		TR 35 (2x1400)
	KSS 40/35.1	6	1000	714		DT 35 (1400)
	KSS 40/35.1	6	1000	714		

Příloha A6 Seznam poháněcích stanic v provozu SKRÝVKA

úsek	napájení z	zařízení	napětí hlavních pohonů [kV]	instalovaný výkon [kW]	výkon dopravní linky [kW]	individuální kompenzace motorů [kvar]	individuální kompenzace transformátorů [kvar]
S 1-1	DT 65	PD 216	6	1400	2x500	400	5
		PD 270	6	1900	3x500	600	5
	DT 74	PD 224	6	1900	4x500	800	5
		PD 261	6	1900	3x500	600	5
		PD 271	6	1900	3x500	800	5
		PD 267	6	1900	3x500	600	5
		PD 201	0,69	1900	3x500	-	18
	TSN 66	PD 206	6	1900	3x500	600	8
		PD 265	6	1900	3x500	600	8
	TSN 69	PD 204	6	2400	4x500	600	8
S 2	DT 51	PD 209	6	1900	3x500	300	8
		PD 212	6	1900	3x500	600	8
		PD 225	6	2400	4x500	400	8
		PD 226	6	2400	4x500	400	8
		PD 227	6	2400	4x500	400	8
	DT 52	PD 285	6	2400	4x500	400	8
		PD 286	6	2400	4x500	400	8
		PD 281	6	2400	4x500	400	8
		PD 282	6	2400	4x500	400	8
		PD 283	6	2400	4x500	400	8
S 1-3	DT 55	PD 284	6	2400	4x500	400	8
		PD 219	6	1900	3x500	600	8
		PD 253	6	1900	3x500	300	8
		PD 256	6	1900	3x500	600	8
	DT 64	PD 258	6	1900	3x500	600	8
		PD 203	6	2400	4x500	400	8
		PD 211	6	1900	3x500	600	8
		PD 252	6	1900	3x500	300	8
		PD 254	6	1900	3x500	300	8
		PD 255	6	1900	3x500	600	8

Příloha A7 Seznam poháněcích stanic v provozu LOM

úsek	napájení z	zařízení	napětí hlavních pohonů [kV]	instalovaný výkon [kW]	výkon dopravní linky [kW]	individuální kompenzace motorů [kvar]	individuální kompenzace transformátorů [kvar]
L - OPF	DT 44	PD 92	6	823	3x200	200	8
		PD 94	6	823	3x200	200	8
		PD 14	6	723	2x250	200	8
		PD 59	6	823	3x200	200	
		PD 111	6	1723	3x500	300	7
		PD 112	6	1723	3x500	300	7
	DT 50	PD 502	6	973	3x250	300	7
		PD 523	6	1723	3x500	300	5
		PD 102	6	1723	3x500	300	7
		PD 263	0,4	1660	4x250	-	5
		PD 264	0,4	1660	4x250	-	5
L - HPF	DT 73	PD 522	6	1723	3x500	300	5
		PD 524	6	1723	3x500	300	5
		PD 503	6	973	3x250	300	5
		PD 154	6	973	3x250	300	5
		PD 122	6	1723	3x500	300	7
		PD 124	6	1723	3x500	300	7
		PD 126	6	1723	3x500	300	5
		PD 105	6	1723	3x500	300	7
		PD 156	6	973	3x250	300	7
		PD 120	6	1723	3x500	300	5
	DT 58	PD 217	0,4	1030	2x250	-	5
		PD 215	0,4	1660	4x250	-	5
		PD 213	0,4	1030	2x250	-	5
		PD 208	0,4	1660	4x250	-	5
	TSN 47 + TSN 72	PD 20	6	723	2x250	200	8
		PD 64	6	723	2x250	200	7
		PD 58	0,4	823	3x200	-	
		PD 123	6	1723	3x500	300	7
		PD 16	6	723	2x250	300	5
		PD 17	6	723	2x250	300	5
	DT 71	TRM 268	0,4	1660	4x250	-	5
		TRM 151	6	973	3x250	-	
		PD 510	6	1723	3x500	300	5
		PD 202	6	1723	3x500	300	7
		TRM 18	6	973	3x250	200	8

Příloha A8 Seznam poháněcích stanic v provozu ÚDUT

úsek	napájení z	zařízení	napětí hlavních pohonů [kV]	instalovaný výkon [kW]	výkon dopravní linky [kW]	individuální kompenzace motorů [kvar]	individuální kompenzace transformátorů [kvar]
ÚDUT	TR 35	PD 501	0,4		2x200	kompenzováno skupinově na TR 35 (2x1400)	
		PD 11	0,4		315		
		PD 21	0,4		2x250		
		PD 31	6		2x250		
		PD 32	0,5		75		
		PD 33	6		2x315		
		PAS 41	0,4		160		
		PAS 46	0,4		2x45		
		PD 103	0,4		2x200		
		PAS103a	0,4		110		
		PD 521	0,4		2x200		
	DT 35	PD S2	6		500	kompenzováno skupinově na DT 35 (1400)	
		PD S3	6		500		
		PD S4	6		2x500		
		PD S5	6		2x500		
		PD S6	6		250		
		PD S7	6		2x500		
		PD S8	6		250		
	ÚDUT I	PAS 2	0,4		2x250	kompenzováno skupinově na ÚDUT I (2x225)	
		PAS 3	0,4		2x30		
		PAS 4	0,4		3x30		
		PAS 31	0,4		4x15		
		PAS 35	0,4		2x15		
		PAS 37	0,4		2x30		
		PAS 38	0,4		2x30		
		PAS 39	0,4		1x15		
		PAS 40	0,4		2x15		
		PAS 51	0,4		2x75		
		PAS 53	0,4		2x75		
	ÚDUT II	PAS 205	0,4		110	kompenzováno skupinově na ÚDUT II (2x225)	
		PAS 211	0,4		2x250		
		PAS 212	0,4		2x30		
		PAS 214	0,4		3x30		
	NZ II	PAS 201	0,4		110		
		PAS 215	0,4		3x30		
		PAS 301	0,4		250		
		PAS 302	0,4		110		
		PAS 303	0,4		30		
		PAS 401	0,4		250		
		PAS 402	0,4		110		
		PAS 403	0,4		30		
	ETU II	PAS 216	0,4		160		
		PAS 102	0,4		160		

Příloha A9 Seznam pomocných zařízení přepravy

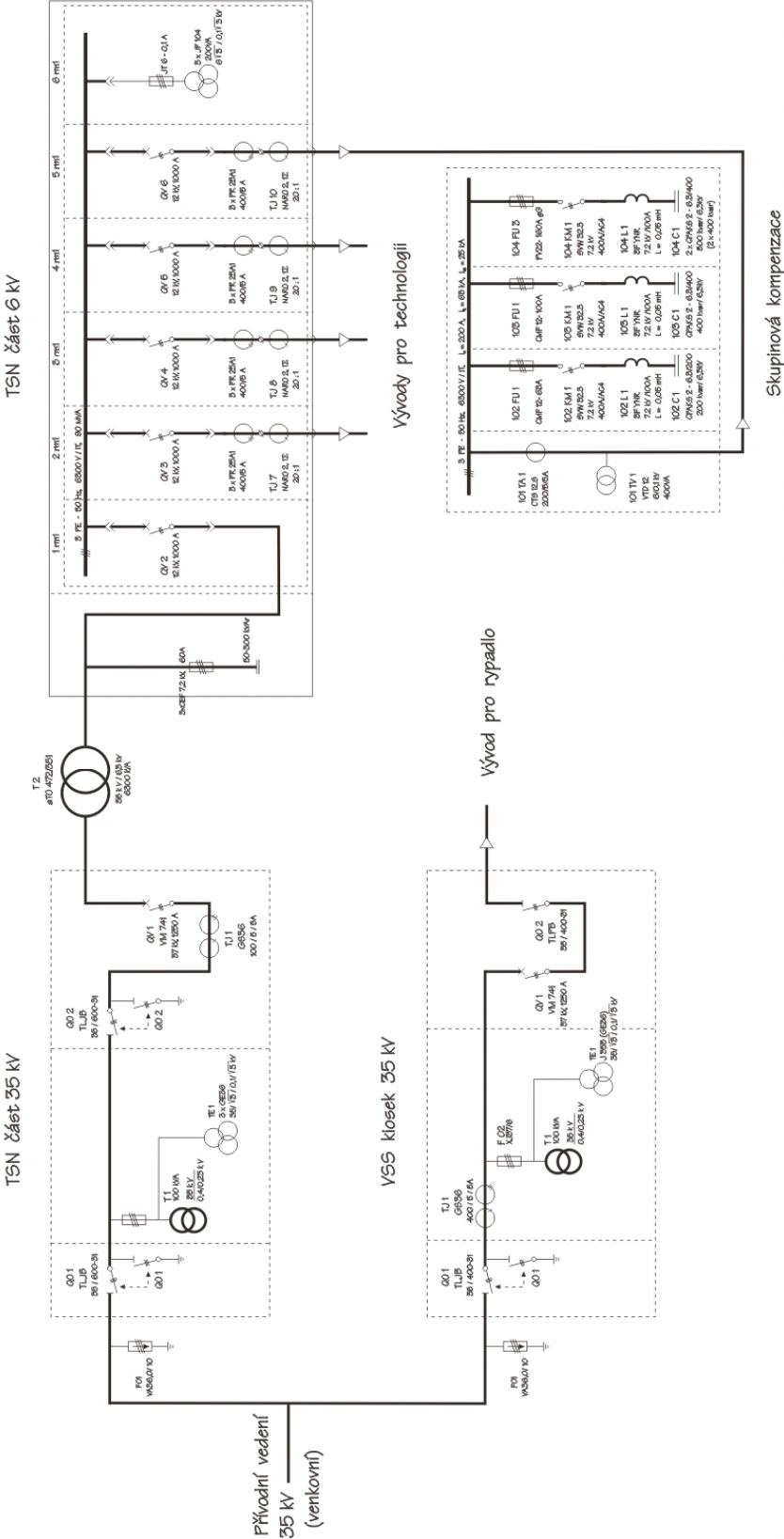
úsek	zařízení	napětí přívodu [kV]	instalovaný výkon [kW]	výkon dopravní linky [kW]	individuální kompenzace [kvar]
S 1-1	SV27	0,5	190	150	
	SV28	0,5	215	150	50
	SV29	0,5	215	150	50
	SV30	0,5	215	150	
S 2	SV20	0,5	215	150	50
	SV21	0,5	215	150	50
	SV22	0,5	215	150	50
	SV33	0,5	215	150	50
	DSOH 33	6	520	400	
S 1-3	SV23	0,5	215	150	50
	SV24	0,5	215	150	50
	SV25	0,5	215	150	50
	SV26	0,5	215	150	50
	DSOH 31	6	620	500	
	DSOH 41	6	620	500	
	DSOH 42	6	620	500	100
L - OPF	PVZ 15	6	564	350	118
	PVZ 12	6	570	400	142
	PVZ 18	6	570	400	168
	PVZ 30	6	544	400	100
	PVZ 28	6	570	400	168
	PVZ 32	6	544	400	100
	PVZ 1	6	570	400	236
L - HPF	PVP 0	6	670	500	8
	PVZ 20	6	544	400	100
	PVZ 31	6	544	400	100
	PVZ 3	6	544	400	100
	PVZ 13	6	492	350	100
	PVZ 16	6	590	400	108
	PVZ 27	6	492	350	100
	PVZ 33	6	544	400	100
	PVZ 29	6	544	400	100
ÚDUT	Drtič 15	6	1500	4x350	kompenzováno skupinově na TR 35 (2x1400)
	Drtič 45	6	1500	4x350	
	PVZ 14	6	570	400	
	Drtič 25	6	850	750	
	PVZ 19	6	570	400	

Příloha A10 Čerpací stanice

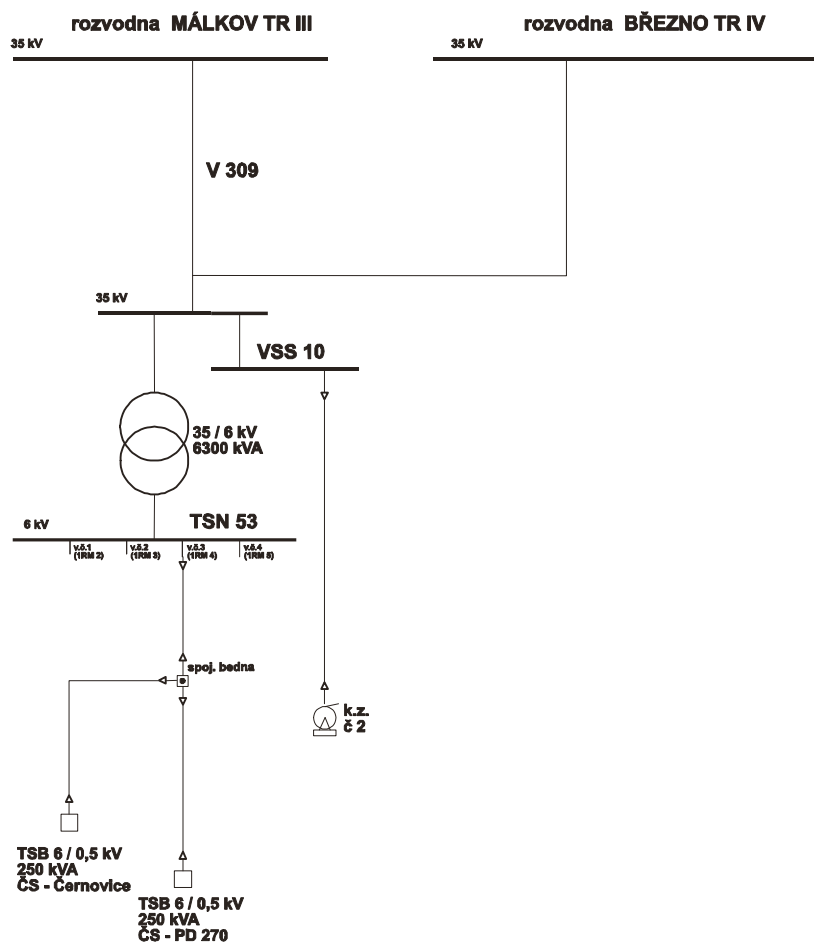


Obr. A 10 Čerpací stanice včetně napájecího kiosku – čerpadla zapojena do série s motory 200 kW/ 6 kV

Příloha B1 Schéma zapojení přesuvné distribuční stanice



Příloha C1 Měření na vývodu V309

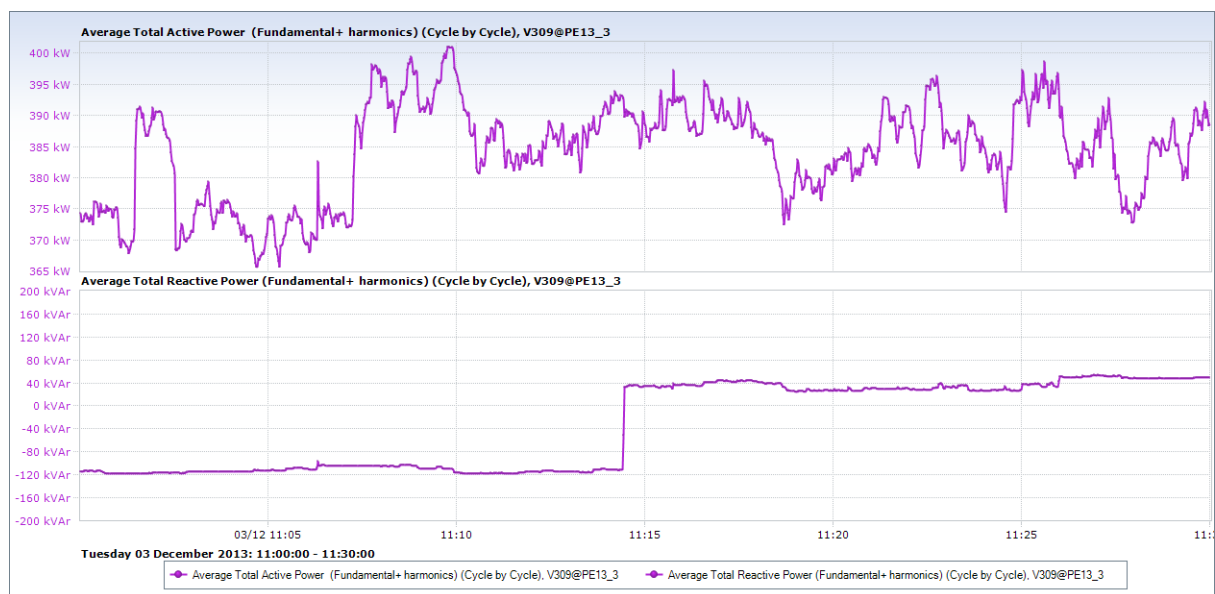


Obr. C 1.1 Technologie napájená z linky V 309

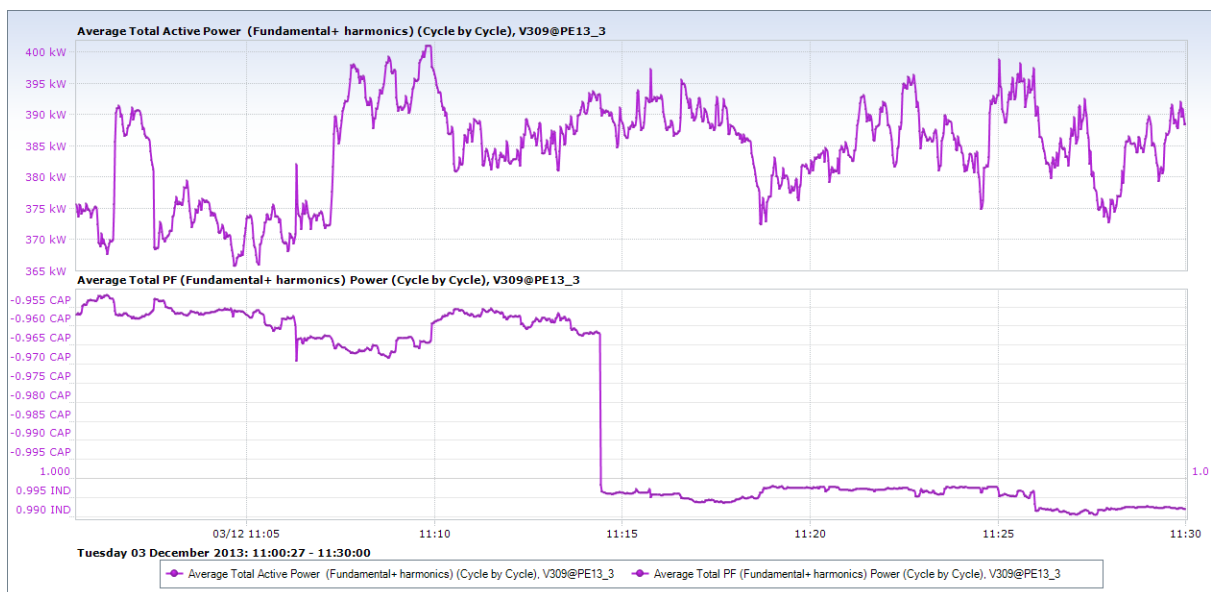
Postup při měření na V309

Měření proběhlo dne 3.12.2013. Po připojení měřicí aparatury se postupovalo takto:

- Odečtení hodnot na V 309 při kompletně připojené technologii
- Vypnutí vypínače 35 kV na VSS 10
- Vypnutí hlavního vypínače 6 kV (přívod z transformátoru 35/6 kV) na TSN 53
- Vypnutí vypínače 35 kV (přívod) pro transformátor 35/6 kV na TSN 53
- Odečtení hodnot na V 309 při odpojené technologii na TSN 53 a VSS 10

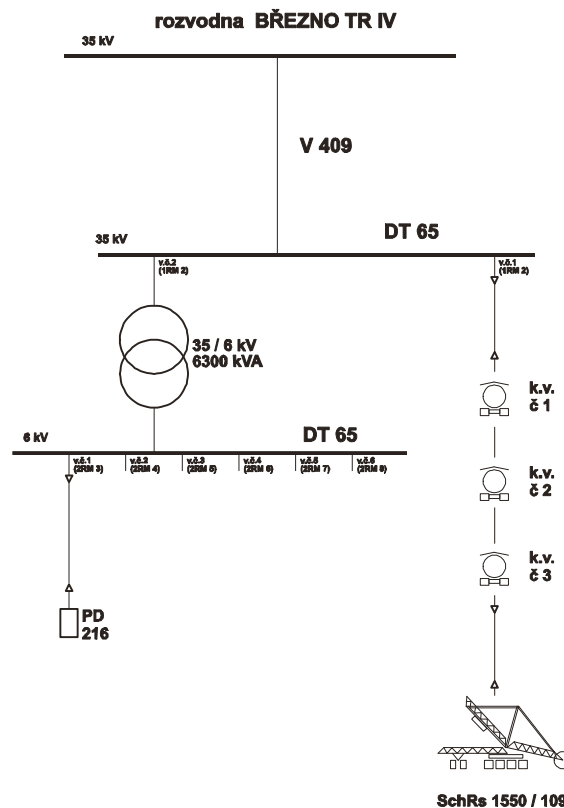


Obr. C 1.2 Průběhy výkonů při měření linky V 309



Obr. C 1.3 Průběh účinníku při měření linky V 309

Příloha C2 Měření na vývodu V409

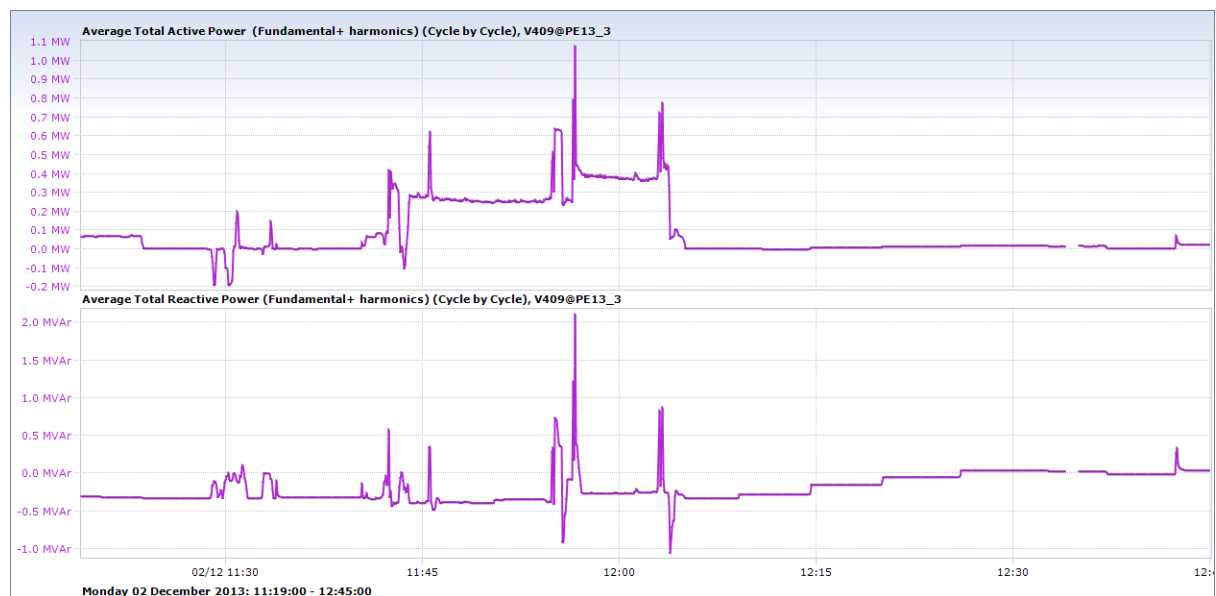


Obr. C 2.1 Technologie napájená z linky V 409

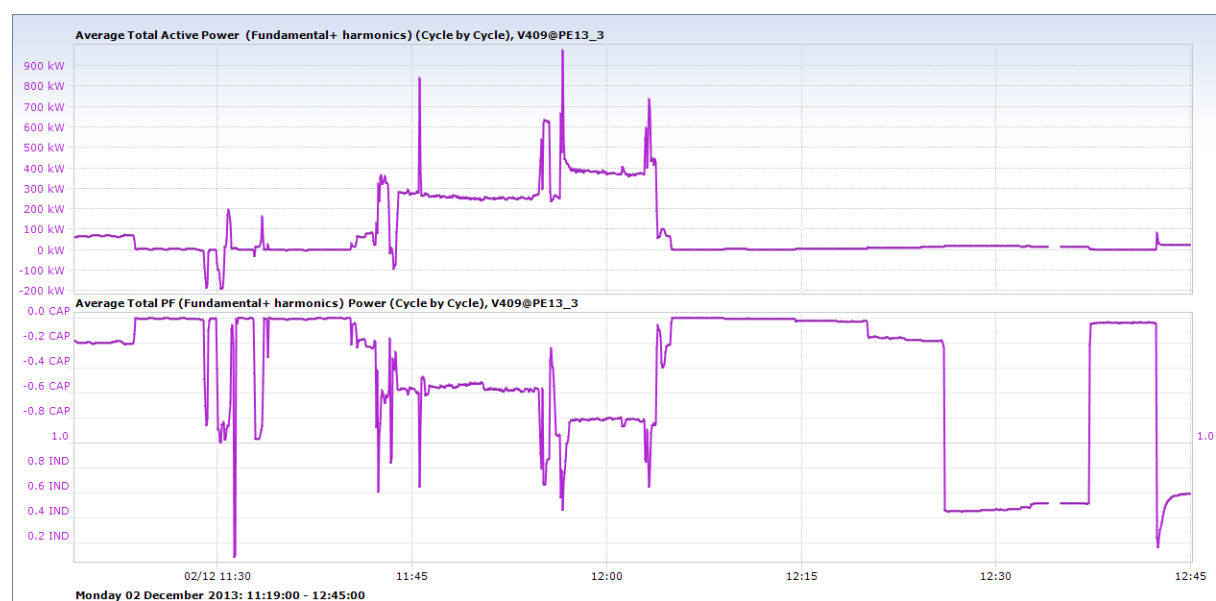
Postup při měření na V 409

Měření proběhlo dne 2.12.2013. Po připojení měřicí aparatury se postupovalo takto:

- Najetí dopravní linky rypadla SchRs 1550/109 na dobu 1-5 minut
- Odečtení hodnot na V 409 při kompletně připojeném technologickém celku (odběr naprázdno při odstavené technologii)
- Vypnutí vypínače přívodu na rypadle SchRs 1550/109
- Vypnutí odpínače na prvním kabelovém voze od rypadla (kabelový vůz č. 3)
- Vypnutí odpojovače na druhém kabelovém voze od rypadla (kabelový vůz č. 2)
- Vypnutí odpojovače na třetím kabelovém voze od rypadla (kabelový vůz č. 1)
- Vypnutí vypínače 35 kV na DT 65 pro rypadlo SchRs 1550/109
- Vypnutí hlavního vypínače 6 kV (přívod z transformátoru 35/6 kV) na DT 65
- Vypnutí vypínače 35 kV pro transformátor 35/6 kV na DT 65
- Odečtení hodnot na V 409 při kompletně odpojené technologii (pouze venkovní vedení)

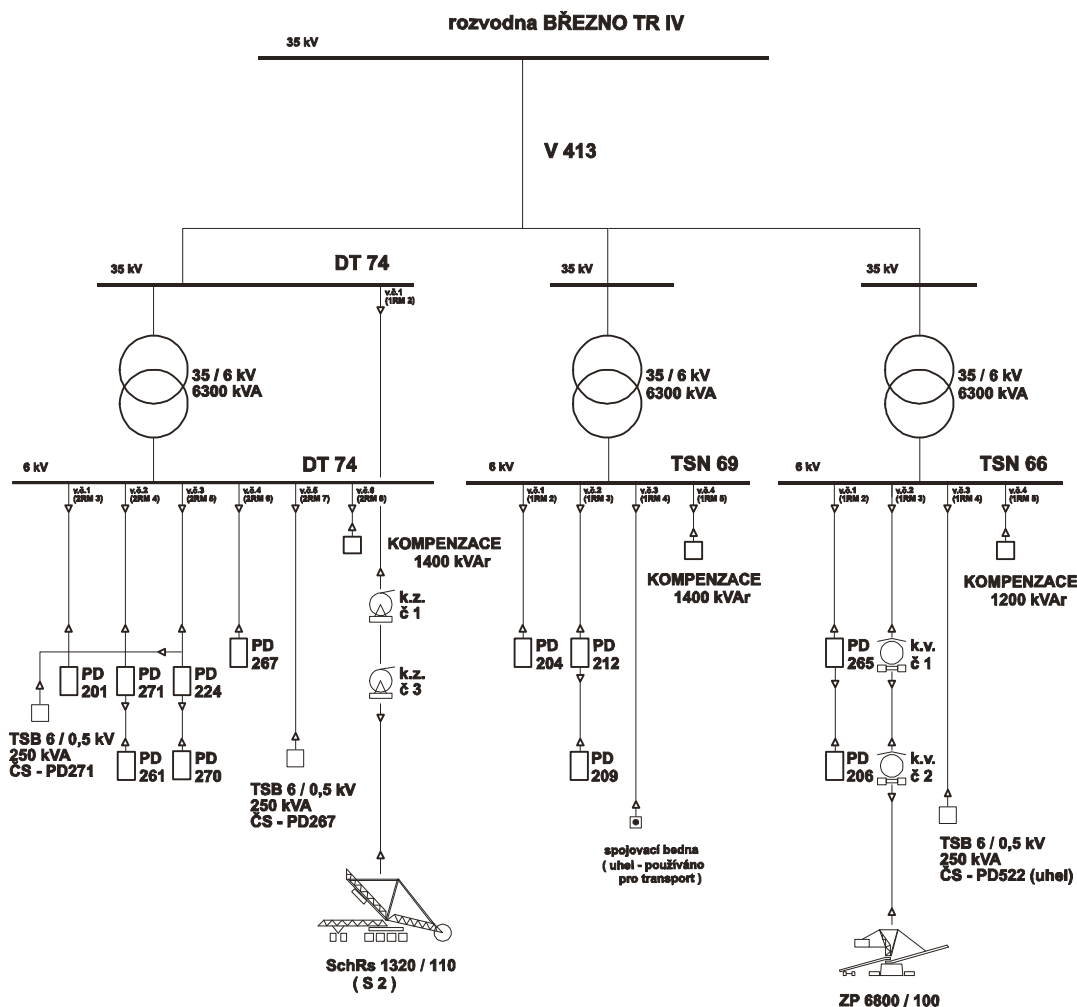


Obr. C 2.2 Průběhy výkonů při měření linky V 409



Obr. C 2.3 Průběh účinníku při měření linky V 409

Příloha C3 Měření na vývodu V413



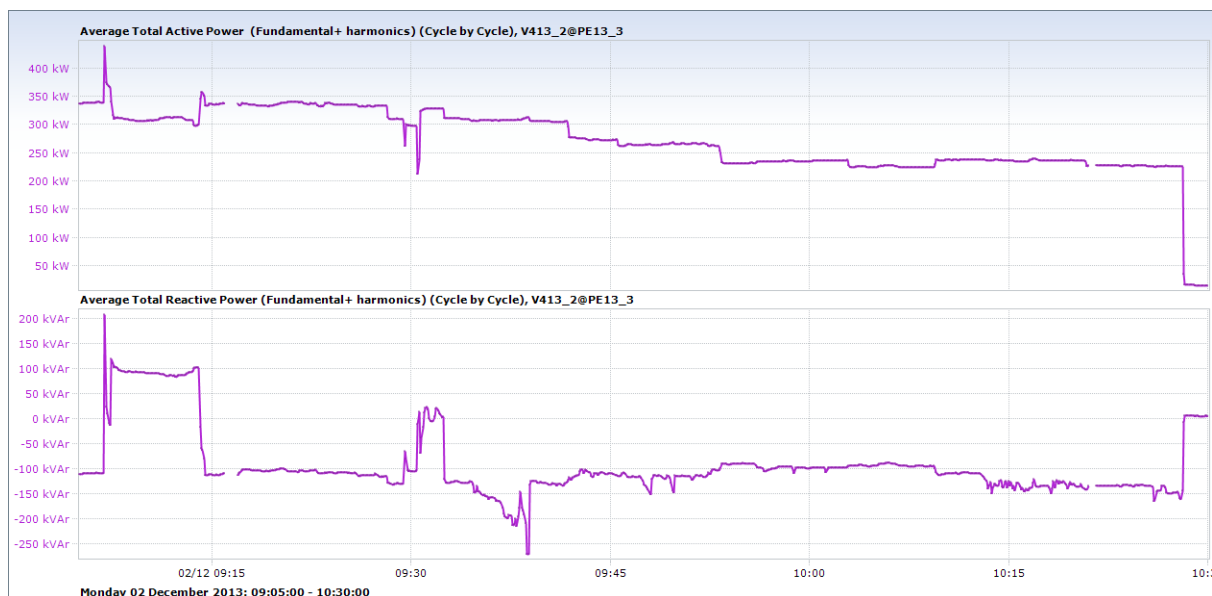
Obr. C 3.1 Technologie napájená z linky V 413

Postup při měření na V 413

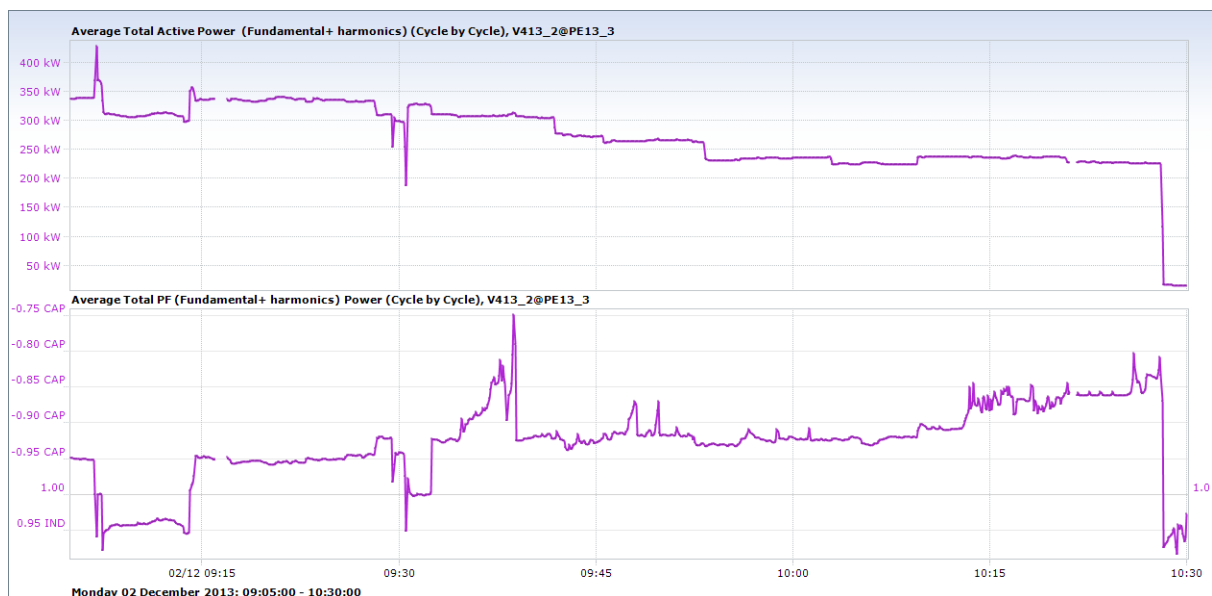
Měření proběhlo dne 2.12.2013. Po připojení měřicí aparatury se postupovalo takto:

- Kontrola vypnutí kompenzačních kiosků na TSN 66, 69 a DT 74
- Najetí dopravní linky zakladače ZPD 6800/100 na dobu 1-5 minut
- Odečtení hodnot na V 413 při kompletně připojeném technologickém celku (odběr naprázdno)
- Vypnutí zakladače ZPD 6800/100 – hlavní vypínač a transformátor vlastní spotřeby
- Vypnutí vypínač vývodu č.2 (1RM 3) na TSN 66
- Vypnutí hlavního vypínače 6 kV (přívod z transformátoru 35/6 kV) na TSN 66
- Vypnutí vypínače 35 kV (přívod) pro transformátor 35/6 kV na TSN 66
- Vypnutí hlavního vypínače 6 kV (přívod z transformátoru 35/6 kV) na TSN 69

- Vypnutí vypínače 35 kV (přívod) pro transformátor 35/6 kV na TSN 69
- Vypnutí hlavního vypínače 6 kV (přívod z transformátoru 35/6 kV) na DT 74
- Vypnutí vypínače 35 kV pro transformátor 35/6 kV na DT 74
- Vypnutí odpínače přívodu na rypadle SchRs 1320/110
- Vypnutí vypínače 35 kV na DT74 pro rypadlo SchRs 1320/110
- Odečtení hodnot na V 413 při kompletně odpojené technologii (pouze venkovní vedení)

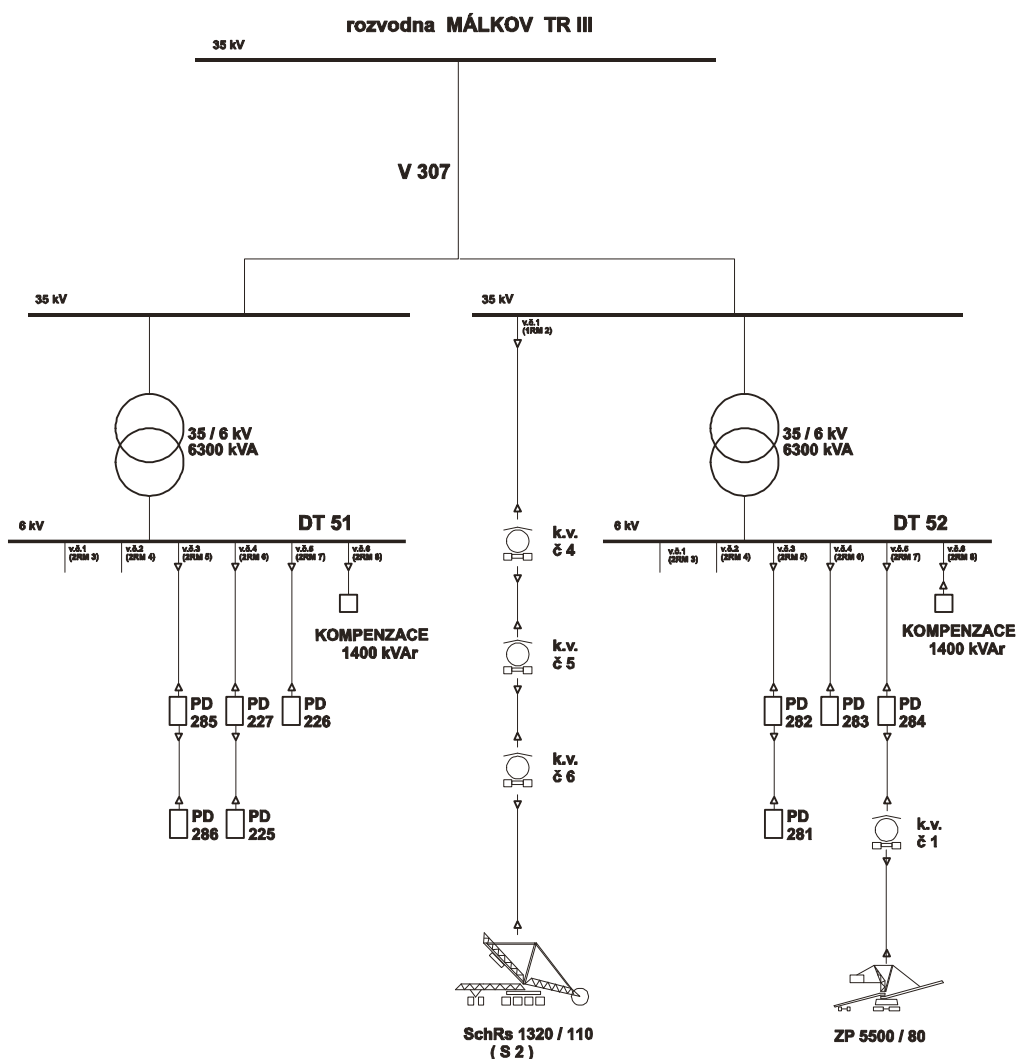


Obr. C 3.2 Průběhy výkonů při měření linky V 413



Obr. C 3.3 Průběh účinníku při měření linky V 413

Příloha C4 Měření na vývodu V307



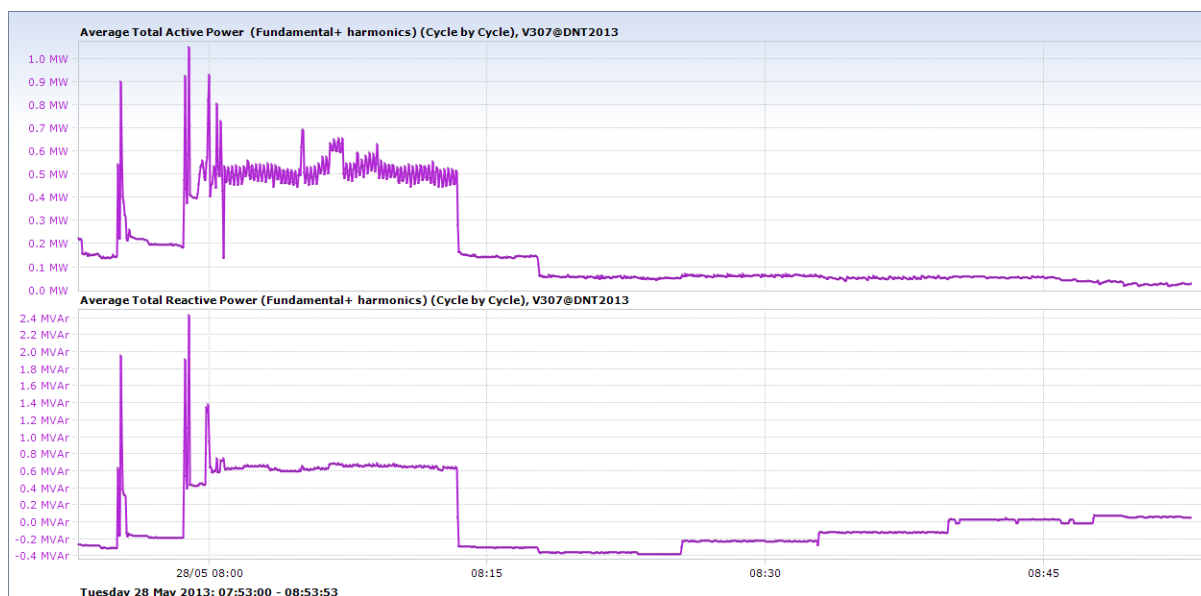
Obr. C 4.1 Technologie napájená z linky V 307

Postup při měření na V307

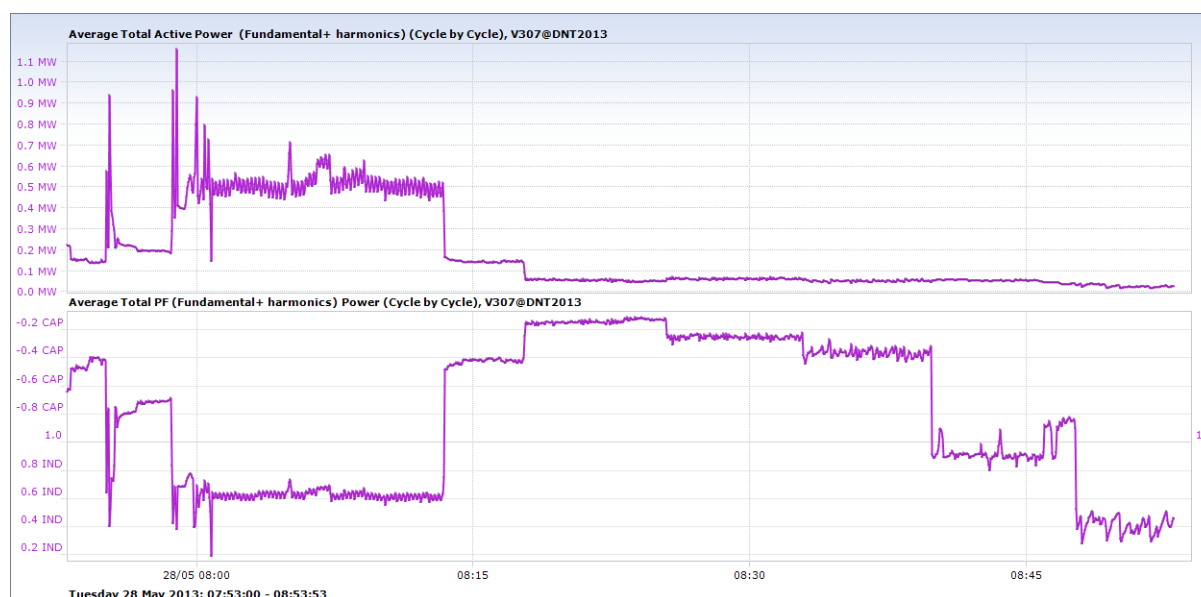
Měření proběhlo dne 28.5.2013. Po připojení měřicí aparatury se postupovalo takto:

- Kontrola vypnutí kompenzačních kiosků na DT 51 a DT 52
- Najetí dopravní linky rypadla SchRs 1320/110 na dobu 1-5 minut
- Odečtení hodnot na V 307 při kompletně připojeném technologickém celku (odběr naprázdno)
- Vypnutí SchRs 1320/110 – hlavní (přívodní) odpínač (včetně transformátoru vlastní spotřeby)
- Vypnutí odpínače na prvním kabelovém voze od rypadla (kabelový vůz č. 7)
- Vypnutí odpínače na druhém kabelovém voze od rypadla (kabelový vůz č. 6)
- Vypnutí odpínače na třetím kabelovém voze od rypadla (kabelový vůz č. 5)
- Vypnutí odpínače na čtvrtém kabelovém voze od rypadla (kabelový vůz č. 4)

- Vypnutí vypínače 35 kV na DT 52 pro rypadlo SchRs 1320/110
- Vypnutí zakladače ZP 5500/80 – hlavní vypínač a transformátor vlastní spotřeby
- Vypnutí hlavního vypínače 6 kV (přívod z transformátoru 35/6 kV) na DT 51
- Vypnutí vypínače 35 kV pro transformátor 35/6 kV na DT 51
- Vypnutí odpínače 35 kV (přívod) pro transformátor 35/ 0,4 kV (vlastní spotřeba) na DT 51
- Vypnutí hlavního vypínače 6 kV (přívod z trafa 35/6 kV) na DT 52
- Vypnutí vypínače 35 kV pro transformátor 35/6 kV na DT 52
- Vypnutí odpínače 35 kV (přívod) pro transformátor 35/0,4 kV (vlastní spotřeba) na DT 52
- Odečtení hodnot na V 307 při kompletně odpojené technologii (pouze venkovní vedení)

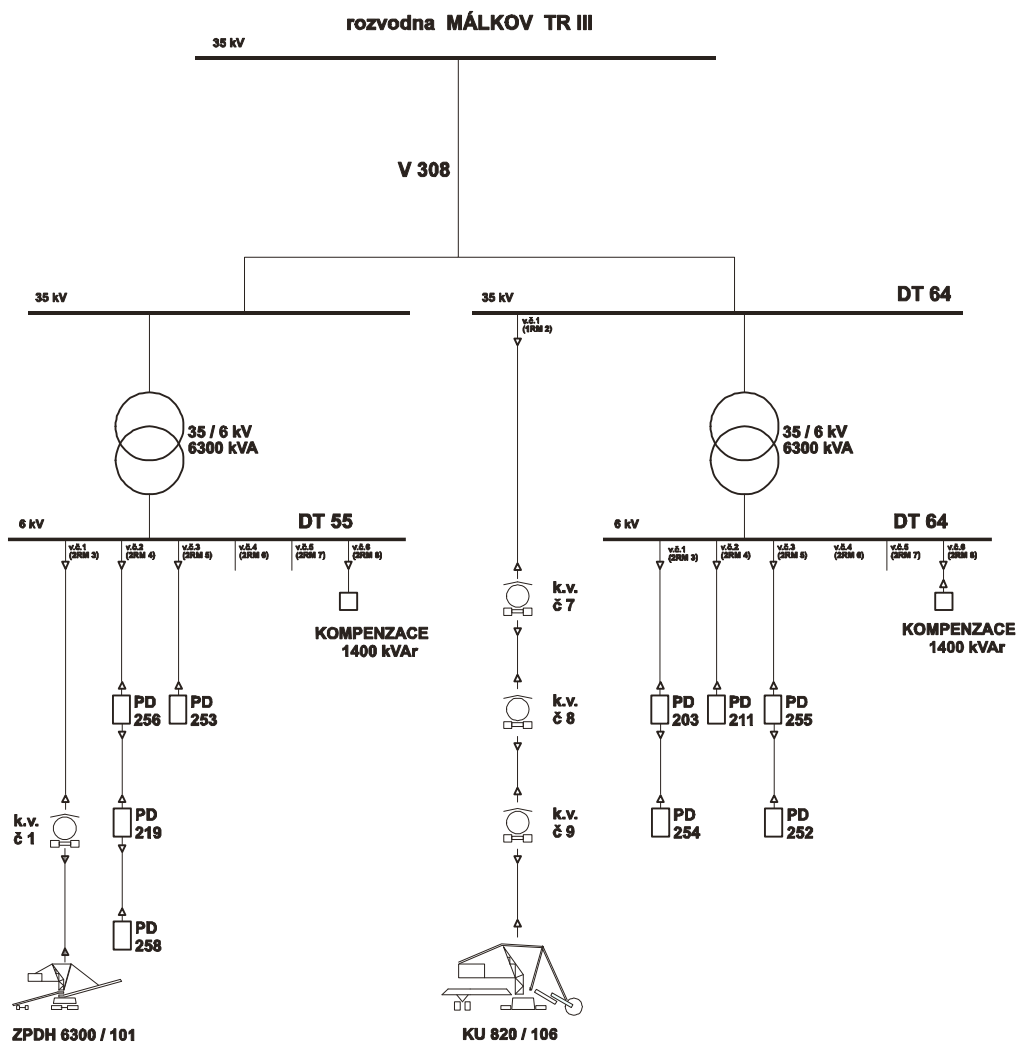


Obr. C 4.2 Průběhy výkonů při měření linky V 307



Obr. C 4.3 Průběh účinníku při měření linky V 307

Příloha C5 Měření na vývodu V308



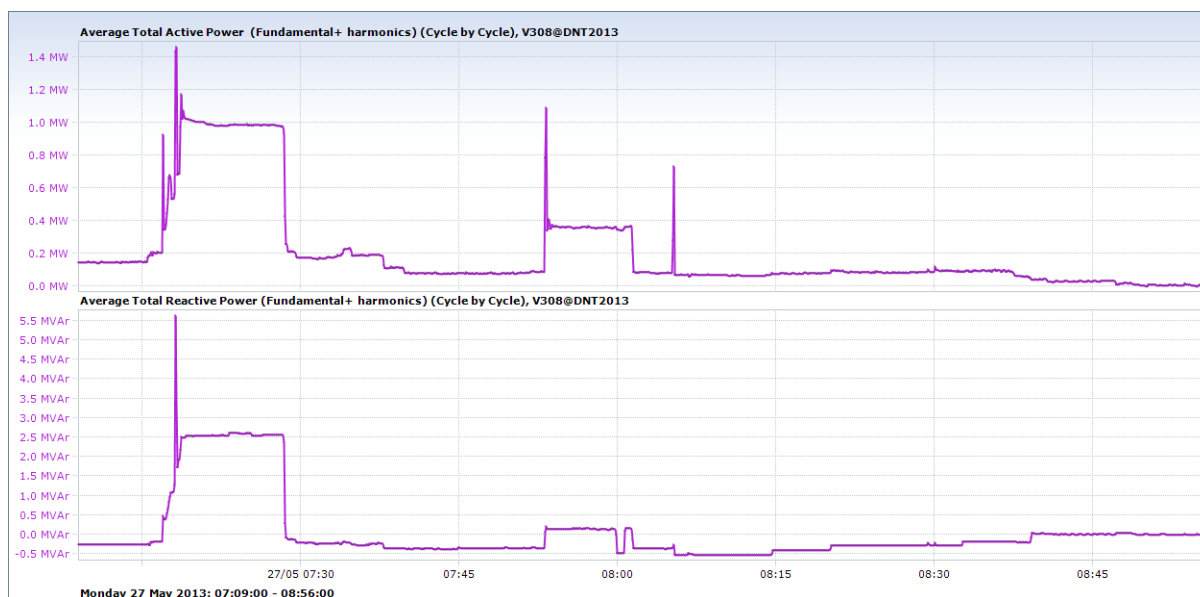
Obr. C 5.1 Technologie napájená z linky V 308

Postup při měření na V308

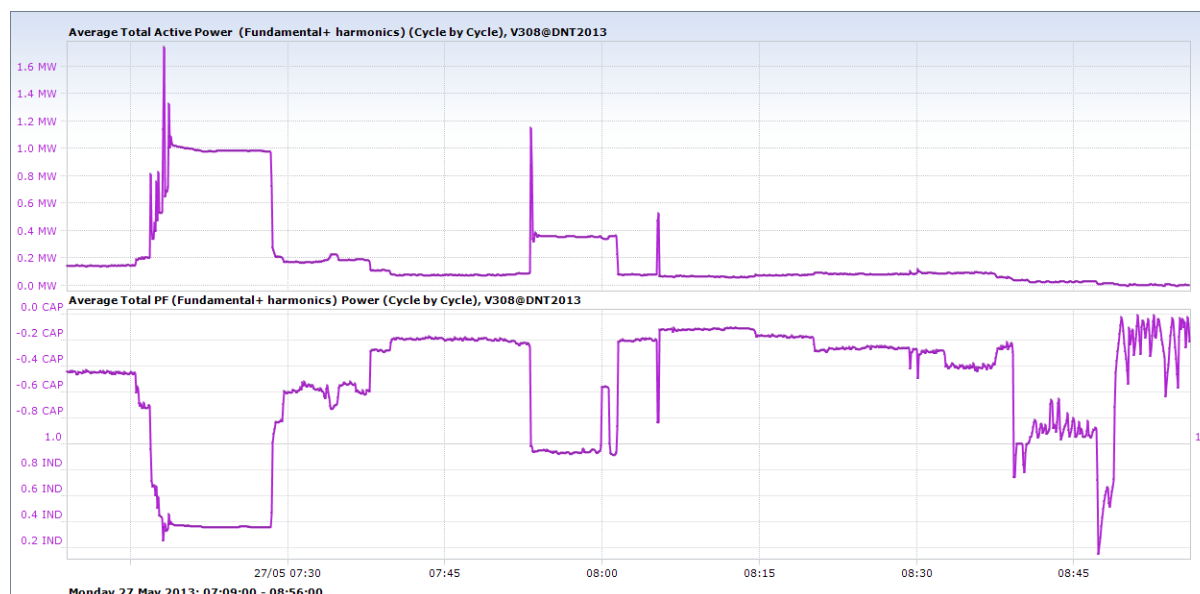
Měření proběhlo dne 27.5.2013. Po připojení měřicí aparatury se postupovalo takto:

- Kontrola vypnutí kompenzačních kiosků na DT 55 a DT 64
- Najetí dopravní linky rypadla KU 800/20 na dobu 1-5 minut
- Odečtení hodnot na V 308 při kompletně připojeném technologickém celku (odběr naprázdno při odstavené technologii)
- Vypnutí KU 800/20 – hlavní (přívodní) vypínač (včetně transformátoru vlastní spotřeby)
- Vypnutí odpínače na prvním kabelovém voze od rypadla (kabelový vůz č. 9)
- Vypnutí odpínače na druhém kabelovém voze od rypadla (kabelový vůz č. 8)
- Vypnutí odpínače na třetím kabelovém voze od rypadla (kabelový vůz č. 7)
- Vypnutí vypínače 35 kV na DT 64 pro rypadlo KU 800/20

- Vypnutí zakladače ZPDH 6300/101 – hlavní vypínač a transformátor vlastní spotřeby
- Vypnutí hlavního vypínače 6 kV (přívod z transformátoru 35/6 kV) na DT 64
- Vypnutí vypínače 35 kV pro transformátor 35/6 kV na DT 64
- Vypnutí odpínače 35 kV (přívod) pro transformátor 35/ 0,4 kV (vlastní spotřeba) na DT 64
- Vypnutí hlavního vypínače 6 kV (přívod z trafa 35/6 kV) na DT 55
- Vypnutí vypínače 35 kV pro transformátor 35/6 kV na DT 55
- Vypnutí odpínače 35 kV (přívod) pro transformátor 35/0,4 kV (vlastní spotřeba) na DT 55
- Odečtení hodnot na V 308 při kompletně odpojené technologii (pouze venkovní vedení)

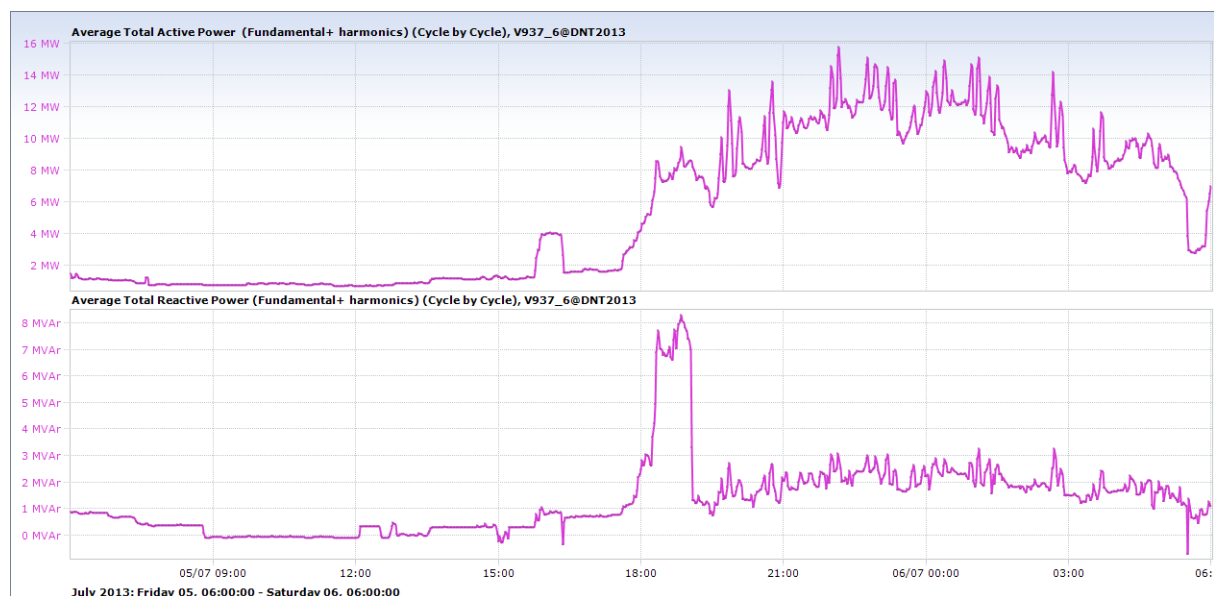


Obr. C 5.2 Průběhy výkonů při měření linky V 308

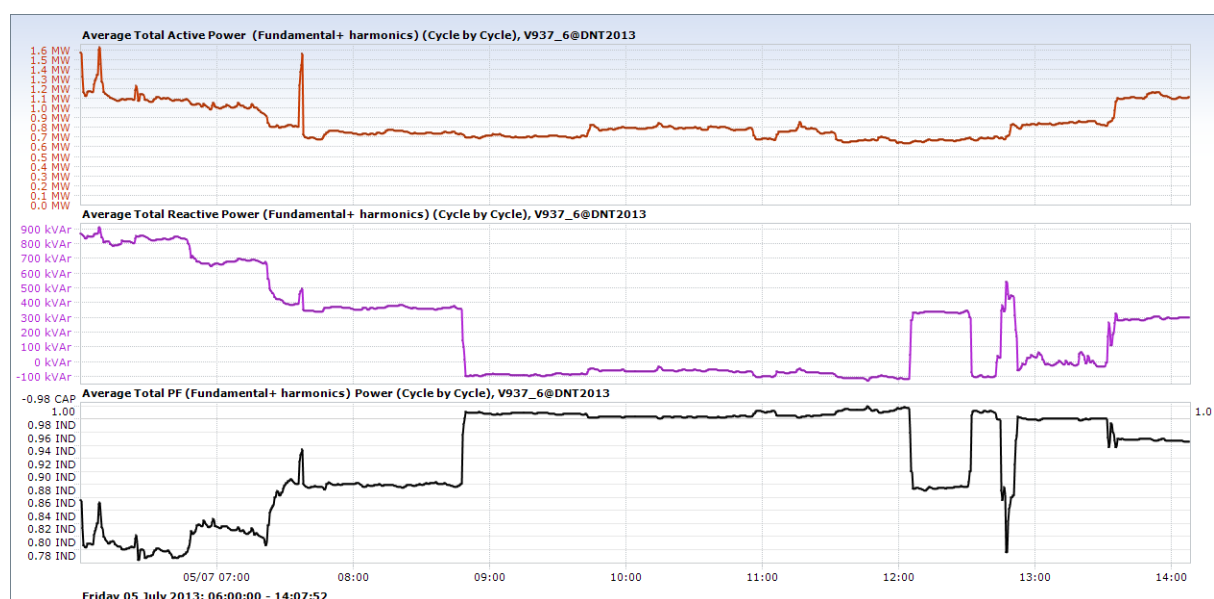


Obr. C 5.3 Průběh účinníku při měření linky V 308

Příloha C6 Měření napájecího bodu TR 2

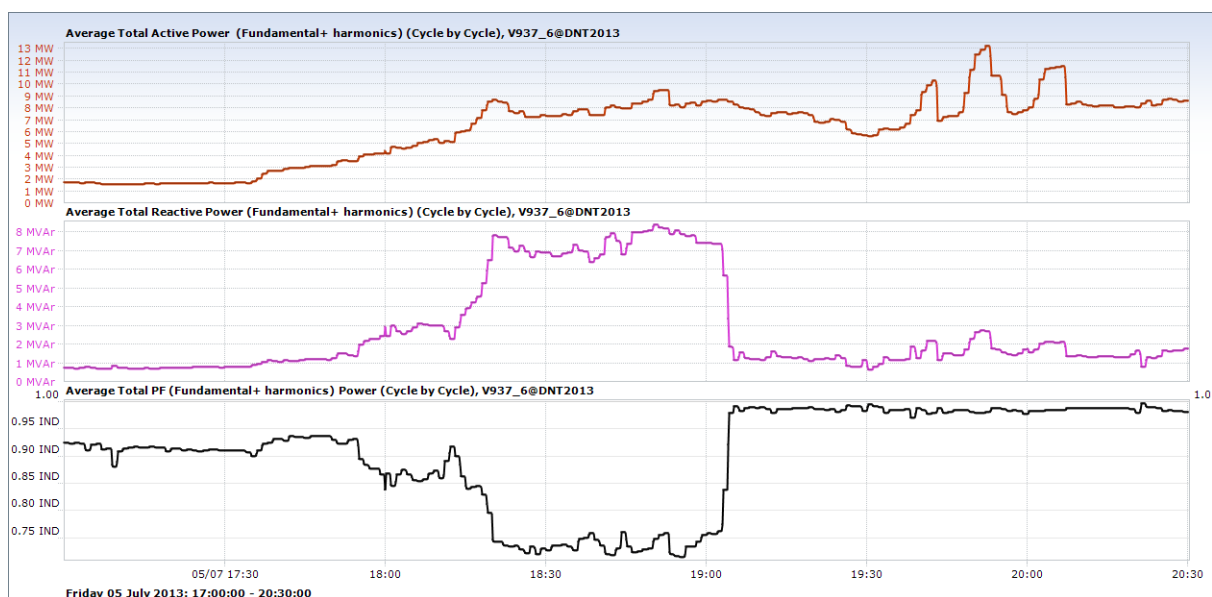


Obr. C 6.1 Průběh výkonů napájecí linky V 937 za 24 hod.



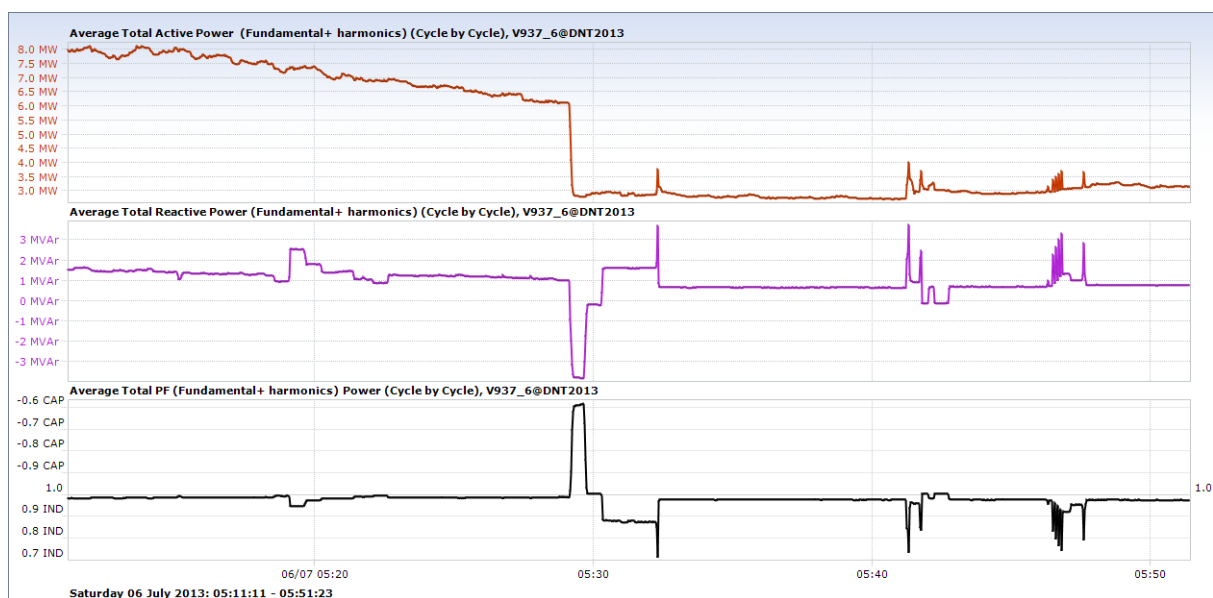
Obr. C 6.2 Průběh výkonů a $\cos \varphi$ napájecí linky V 937 bez zatížení (technologie v klidu).

Na obr. B 6.2, v čase 6:00 hod. až 8:50 hod., se nachází linka V 937 bez zatížení (technologie v klidu), centrální kompenzace na TR2je v této době vypnuta. V čase 8:50 hod. až 12:05 hod., byla uvedena do činnosti centrální kompenzace na TR2 – dochází k překompenzování.



Obr. C 6.3 Průběh výkonů a $\cos \varphi$ napájecí linky V 937 při najíždění technologie.

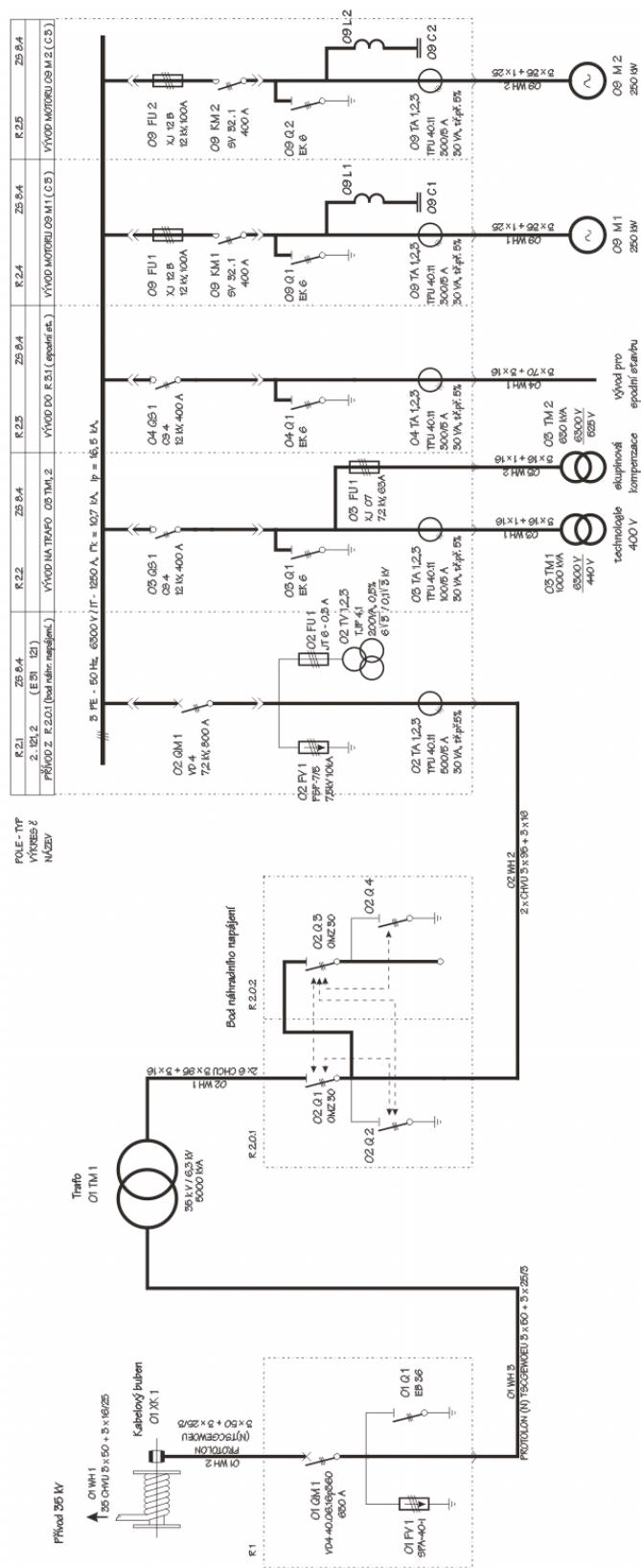
Na obr. C 6.3 můžeme pozorovat průběhy výkonu při najíždění technologie dopravy uhelných provozů. Jak je patrné z průběhu účinníku, je skupinová kompenzace provedena nedostatečně (nereaguje správně).

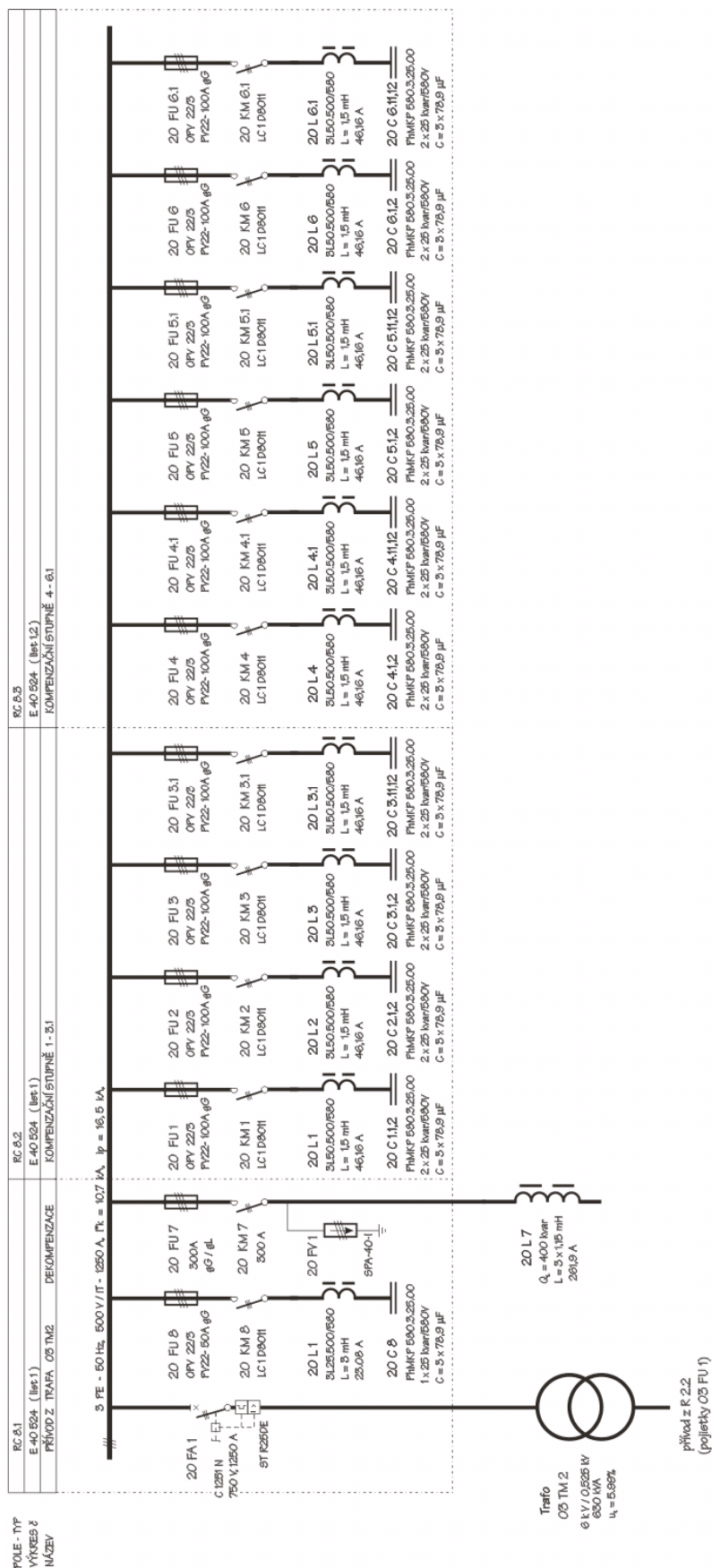


Obr. C 6.4 Průběh výkonů a $\cos \varphi$ napájecí linky V 937 při vypnutí technologie.

Na obr. C 6.4 vidíme okamžik odstavení technologie a reakci centrální kompenzace, která vypíná postupně jednotlivé kompenzační stupně.

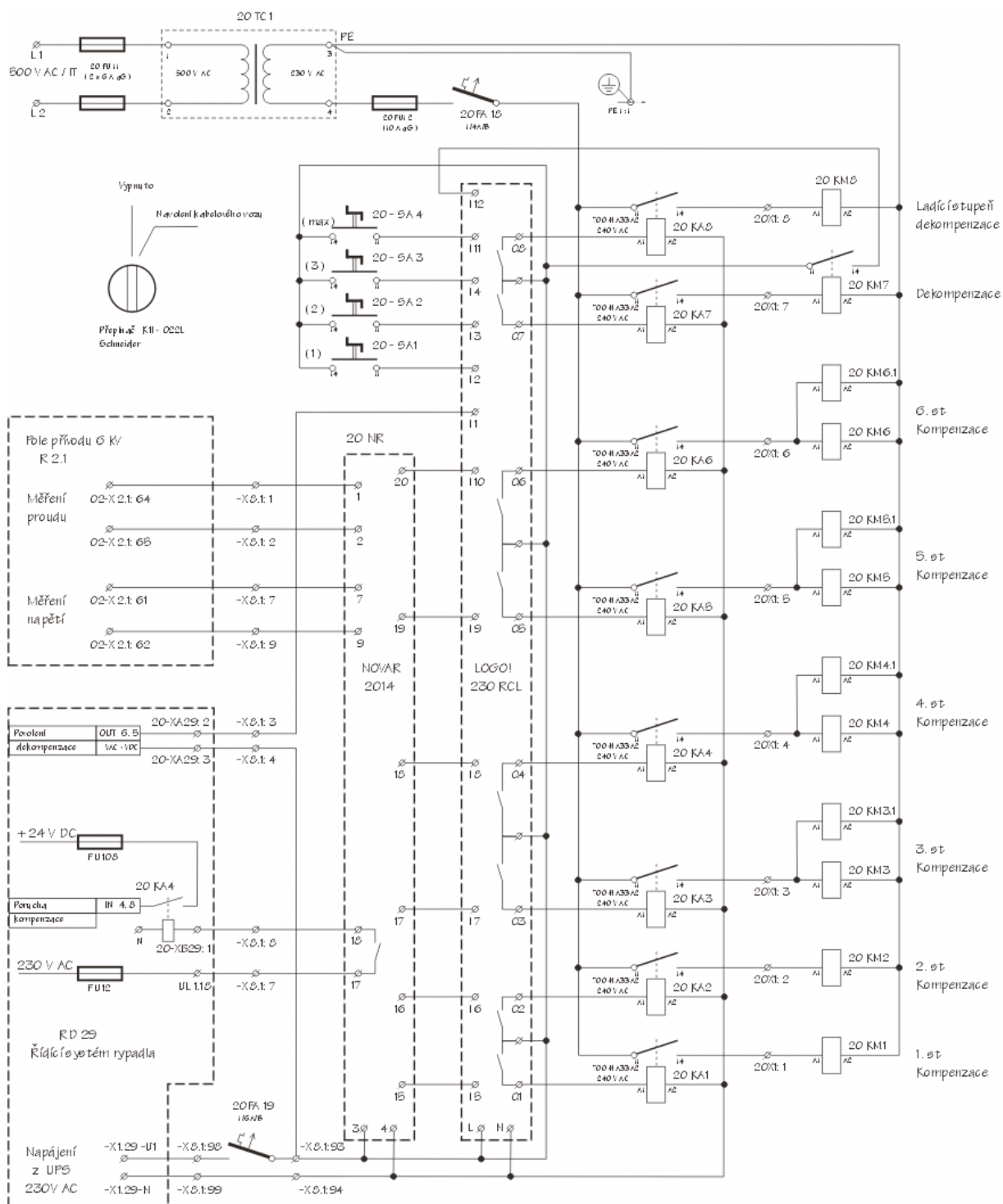
Silové schéma připojení transformátoru skupinové kompenzace přívodu na SchRs 1550/109

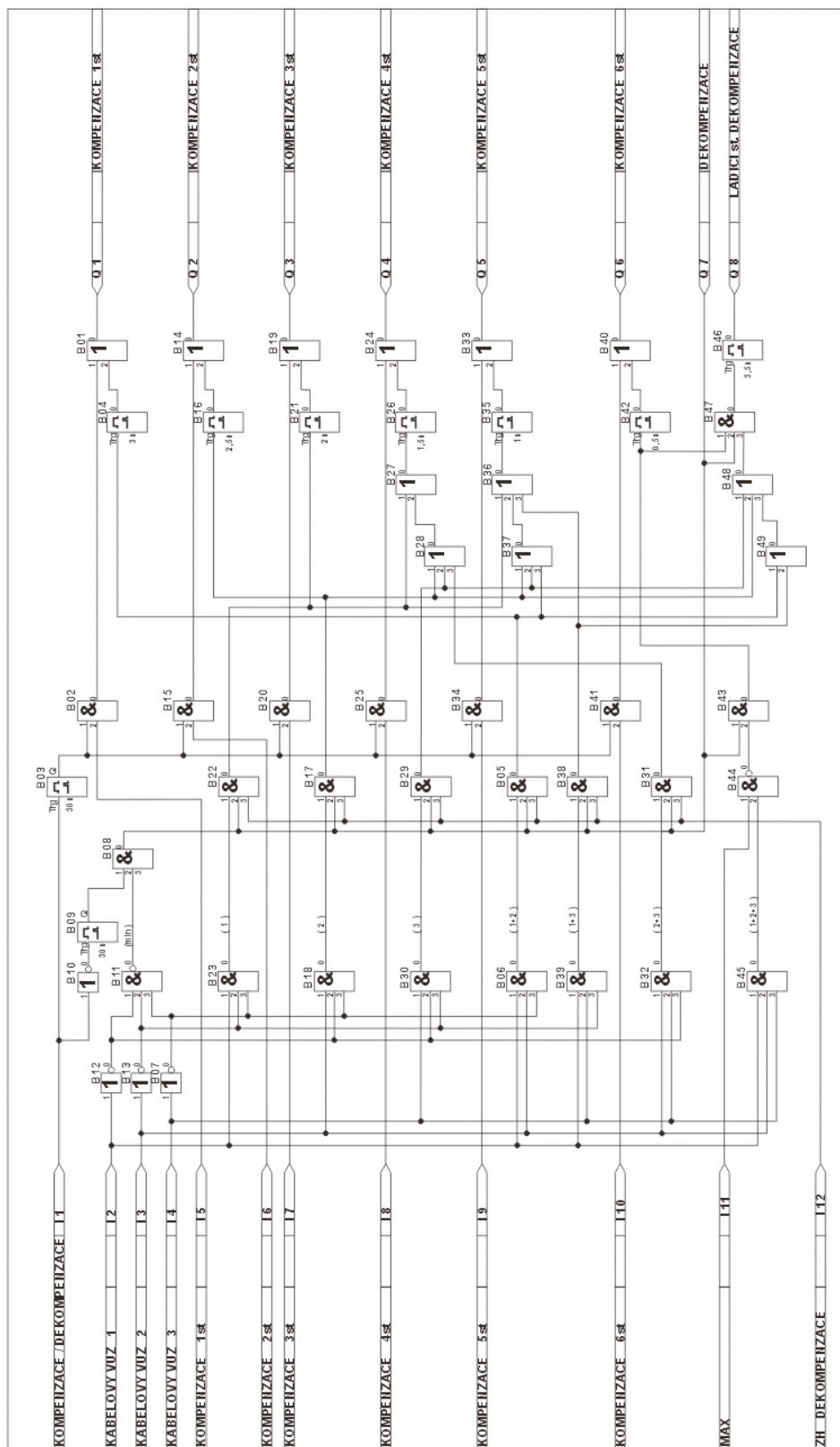




Příloha D3

Schéma zapojení programovatelného relé do ovládání skupinové kompenzace





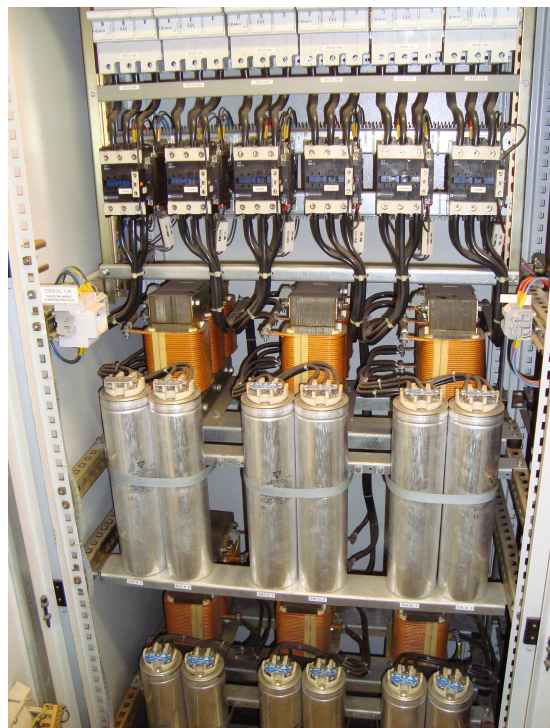
Příloha D5 Obrazová příloha kompenzace přívodu na SchRs 1550/109



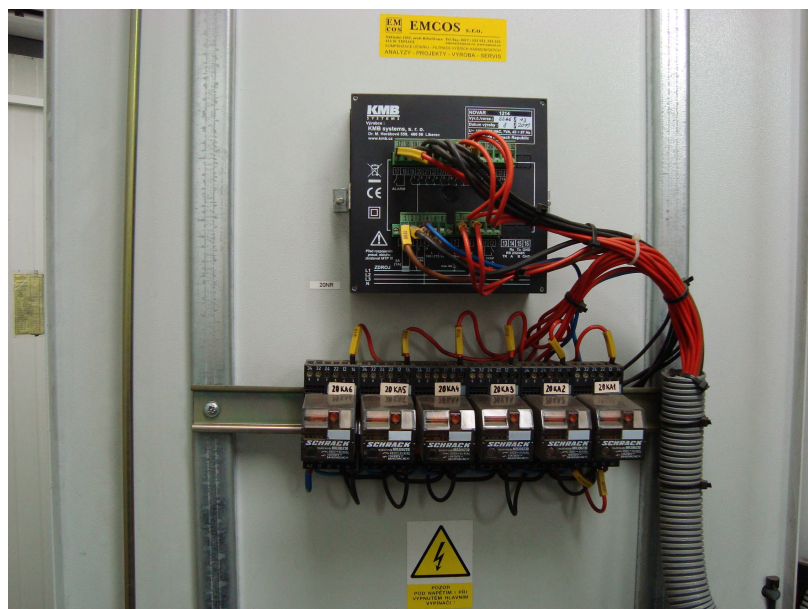
Obr. D 5.1 Napájení 35 kV pro SchRs 1550 / 109 (podvozek LU).



Obr. D 5.2 Přívodní pole skupinové kompenzace přívodu na SchRs 1550 / 109

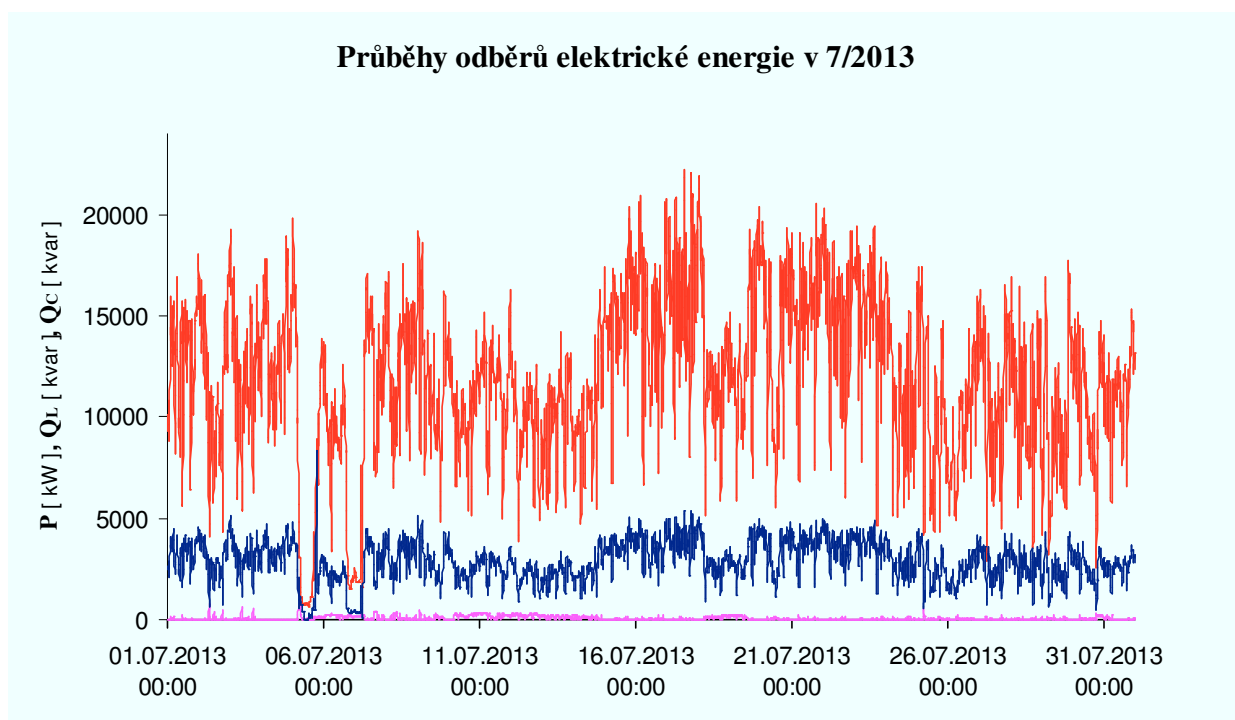


Obr. D 5.3 Provedení skupinové kompenzace přívodu na SchRs 1550 / 109 (podvozek LU).

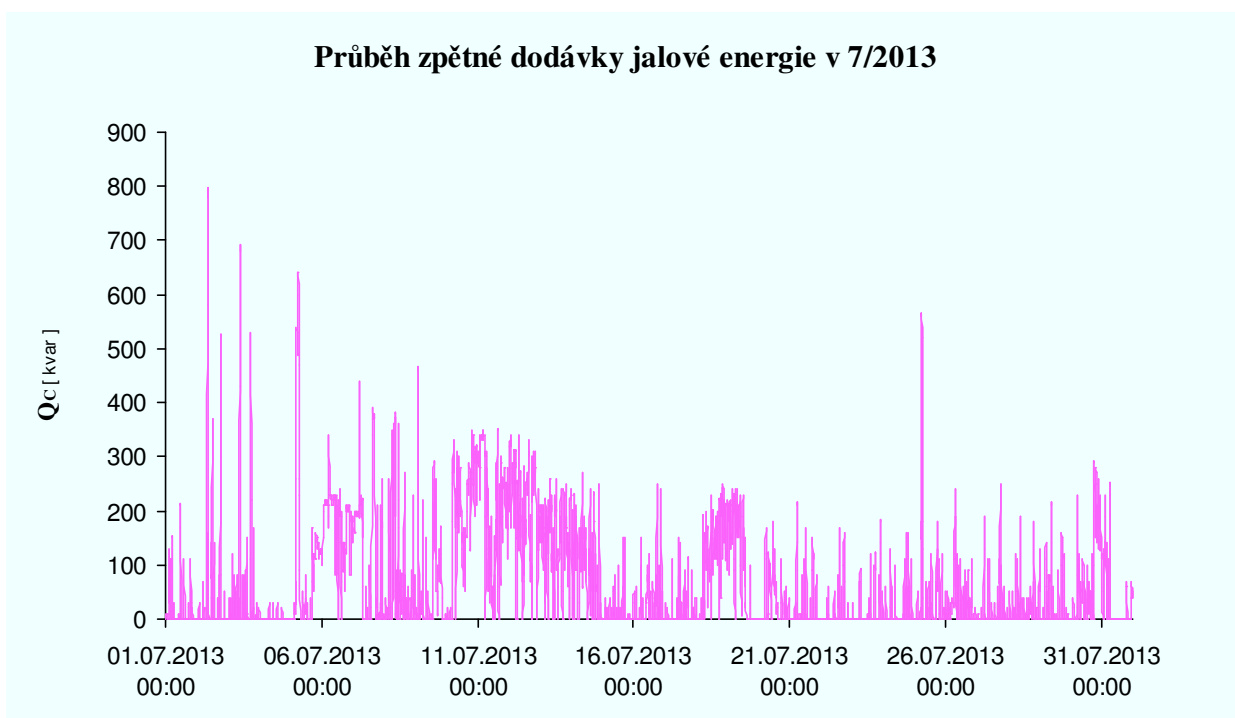


Obr. D 5.4 Zapojení regulátoru účinníku skupinové kompenzace přívodu

Příloha E1 Měření SČE – měsíční průběhy výkonů za měsíc červenec 2013

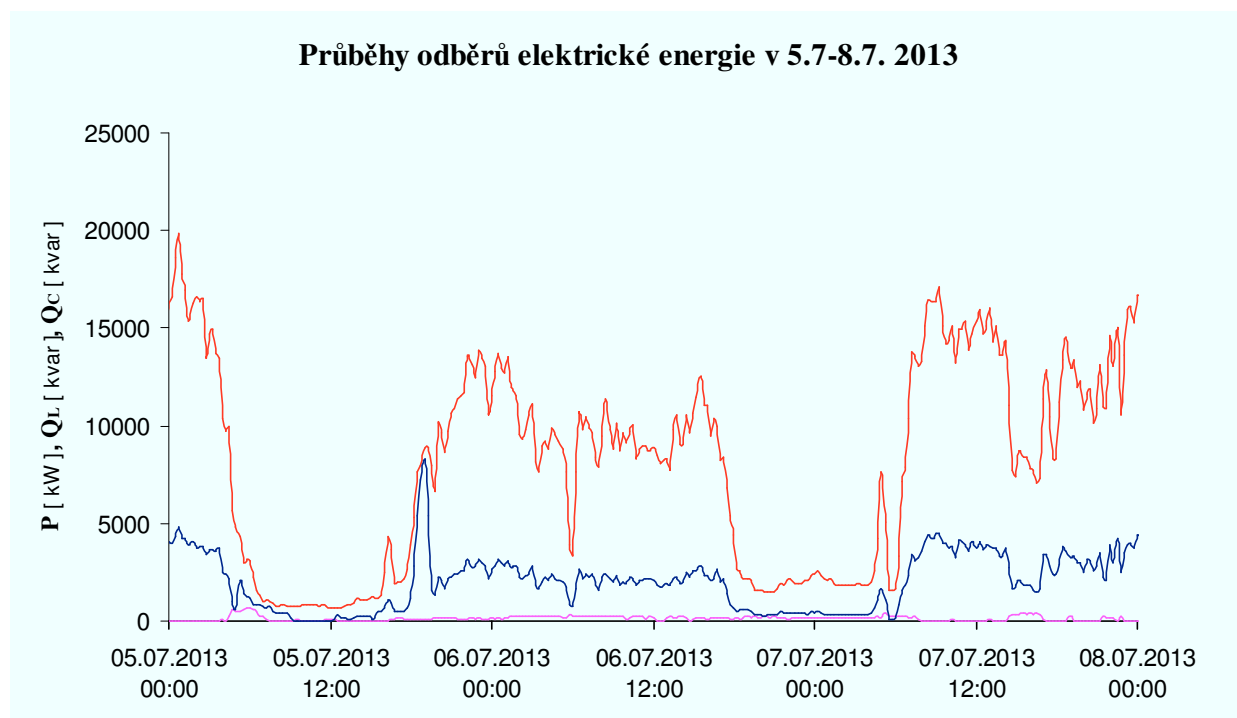


Obr. E 1.1 Odběry za DNT v měsíci červenec 2013

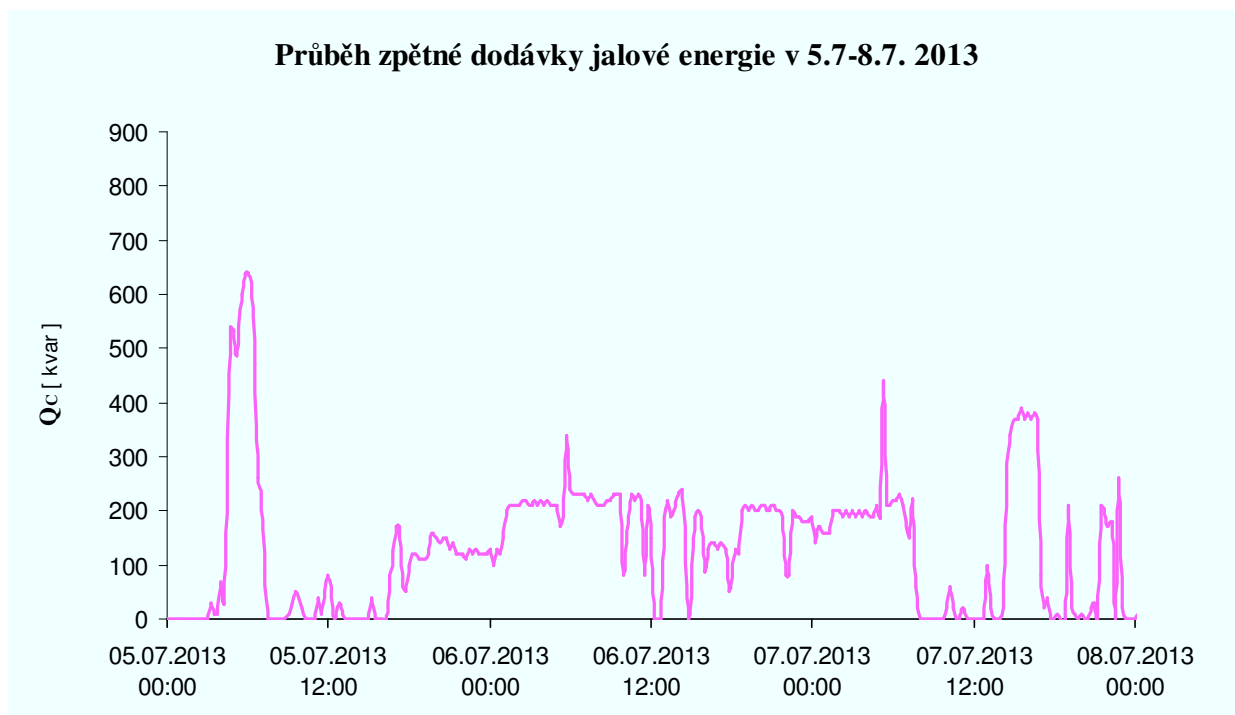


Obr. E 1.2 Zpětná dodávka jalové energie za DNT v měsíci červenec 2013

Příloha E2 Měření SČE – průběhy výkonů ve dnech 5 - 8.7 2013

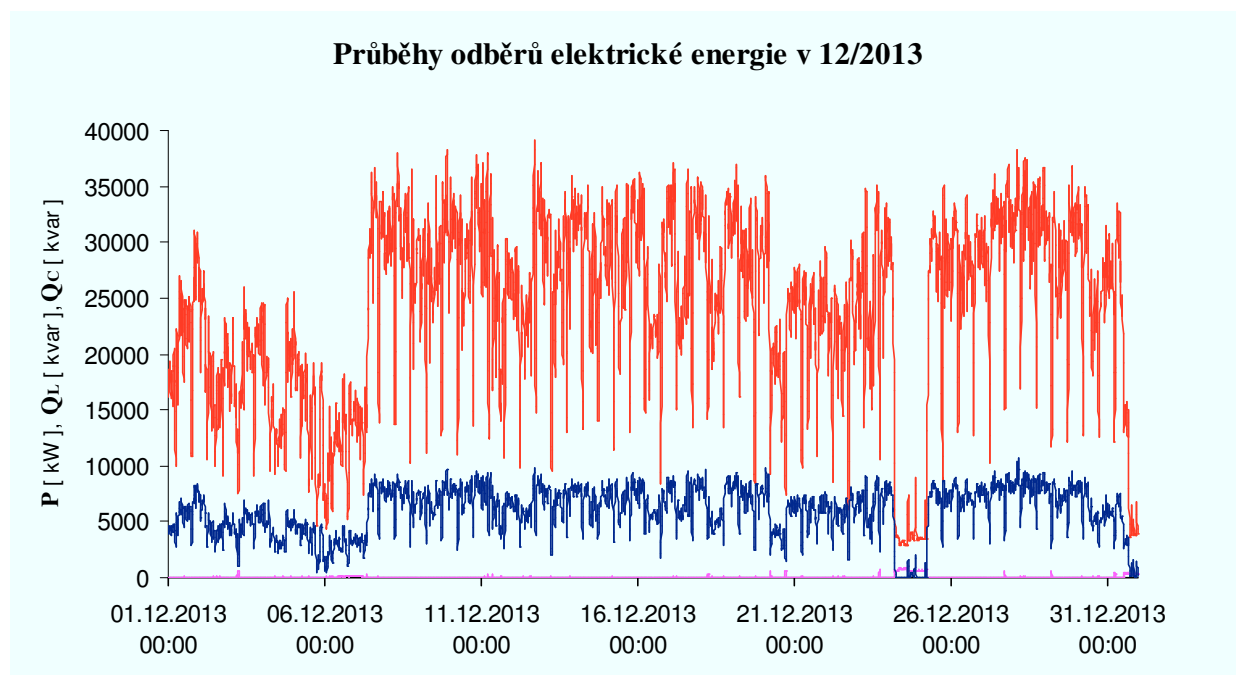


Obr. E 2.1 Odběry za DNT ve dnech 5-8. července 2013

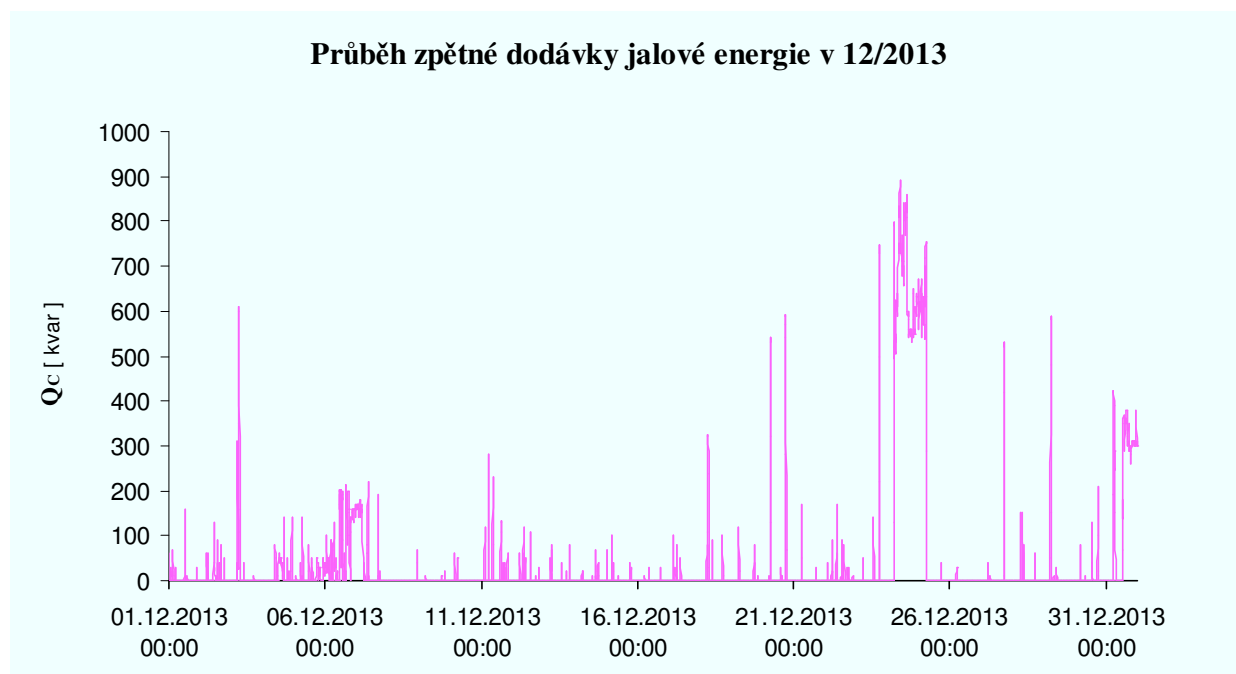


Obr. E 2.2 Zpětná dodávka jalové energie za DNT ve dnech 5-8. července 2013

Příloha E3 Měření SČE – měsíční průběhy výkonů za měsíc prosinec 2013

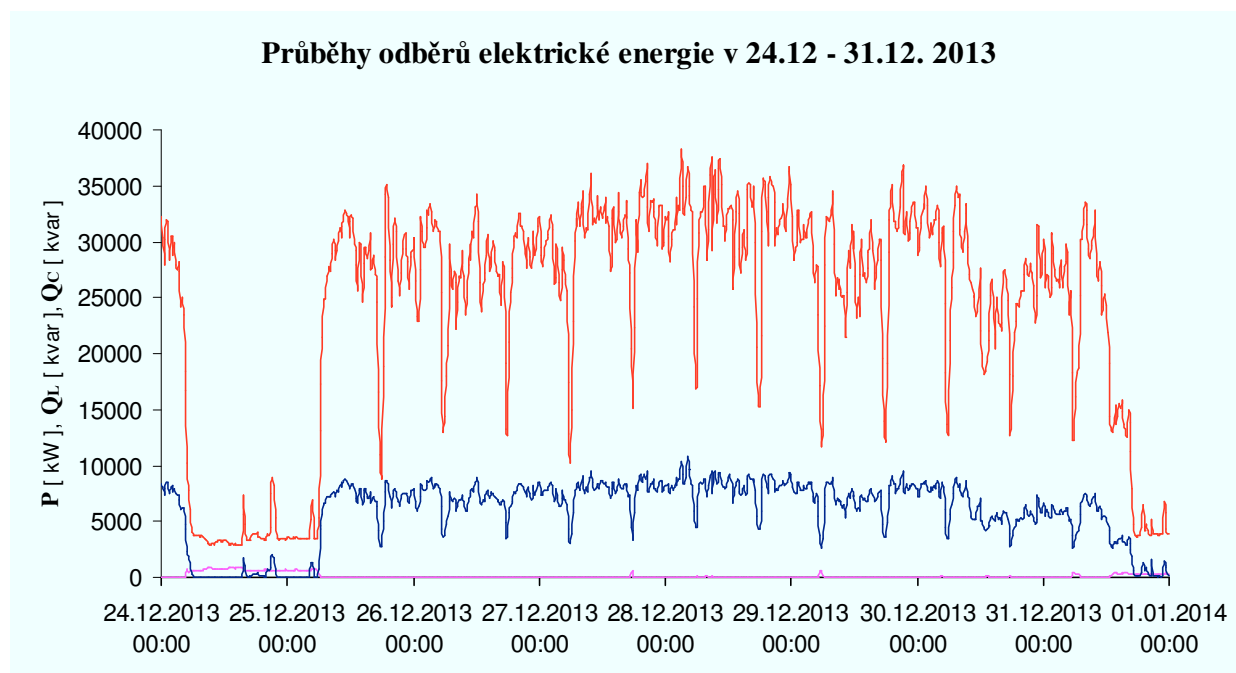


Obr. E 3.1 Odběry za DNT v měsíci prosinec 2013

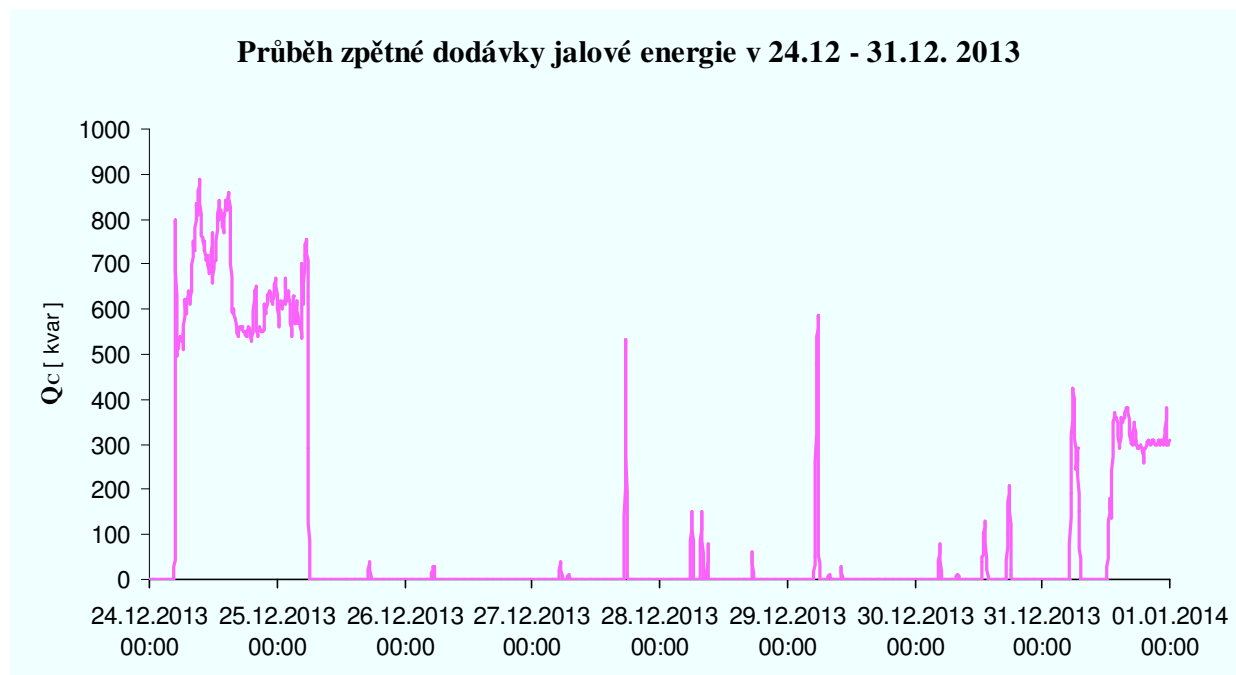


Obr. E 3.2 Zpětná dodávka jalové energie za DNT v měsíci prosinec 2013

Příloha E4 Měření SČE – průběhy výkonů ve dnech 24 - 31.12 2013



Obr. E 4.1 Odběry za DNT ve dnech 24-31. prosince 2013



Obr. E 4.2 Zpětná dodávka jalové energie za DNT ve dnech 24-31. prosince 2013